

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-255660

(43)Date of publication of application : 21.09.2001

(51)Int.Cl. G03F 7/20  
G02B 3/00  
G02B 13/18  
G03F 7/40

(21)Application number : 2000-067262

(71)Applicant : RICOH OPT IND CO LTD

(22)Date of filing : 10.03.2000

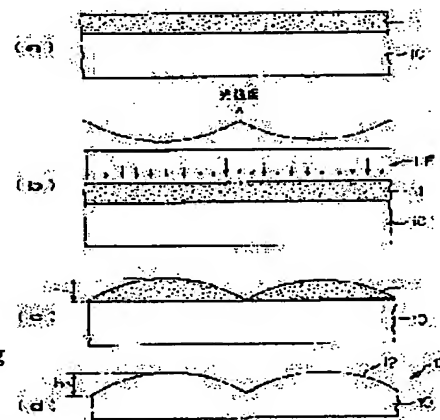
(72)Inventor : UMEKI KAZUHIRO

## (54) GENERATION METHOD FOR SPECIAL, SURFACE SHAPE AND OPTICAL ELEMENT

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To realize a novel generation method which is capable of easily generating a special surface shape of a three-dimensional structure which changes smoothly and continuously in a height direction on a photosensitive material layer or a substrate.

**SOLUTION:** The generation method for the special surface shape changes the thickness of the photosensitive material layer 11 according to the desired special surface shape by applying a photosensitive material to a prescribed thickness on the surface of a substrate material 10 to be formed with the special surface shape of the desired three-dimensional structure to form the photosensitive material layer and exposing a mask pattern LF of a prescribed light transmittance distribution on the photosensitive material layer 11 by using a mask for exposure stepwise changing in the light transmittance in correspondence to the special surface shape. When the pattern LF of the mask for exposure is exposed to the photosensitive material layer 11, the exposure pattern is slightly deviated in focus by defocusing, by which the level difference of the light transmittance distribution of the mask pattern is eliminated.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

[Claim(s)]

[Claim 1] The generating approach of the shape of special surface type which carries out [ \*\*\*\*\* ] an exposure pattern, is made to carry out it, and is characterized by canceling the level difference of light transmittance distribution in case light transmittance exposes a pattern in the photosensitive ingredient layer on a substrate using the mask for exposure which changes gradually corresponding to the shape of special surface type of the desired three-dimensional structure.

[Claim 2] The generating approach of the shape of special surface type characterized by canceling the level difference of light transmittance distribution by exposing a mask pattern by the diffused light in case light transmittance exposes a pattern in the photosensitive ingredient layer on a substrate using the mask for exposure which changes gradually corresponding to the shape of special surface type of the desired three-dimensional structure.

[Claim 3] On the front face of the substrate ingredient which should form the shape of special surface type of the desired three-dimensional structure, apply a photosensitive ingredient to predetermined thickness and a photosensitive ingredient layer is formed. Corresponding to the shape of above-mentioned special surface type, light transmittance exposes the mask pattern of predetermined light transmittance distribution in the above-mentioned photosensitive ingredient layer using the mask for exposure which changes gradually. In the special surface type-like generating approach of making the thickness of the above-mentioned photosensitive ingredient layer changing according to the shape of target special surface type The generating approach of the shape of special surface type which defocuses, is made to carry out focal dotage of the exposure pattern slightly, and is characterized by canceling the level difference of light transmittance distribution of the above-mentioned mask pattern in case the pattern of the above-mentioned mask for exposure is exposed to the above-mentioned photosensitive ingredient layer.

[Claim 4] On the front face of the substrate ingredient which should form the shape of special surface type of the desired three-dimensional structure, apply a photosensitive ingredient to predetermined thickness and a photosensitive ingredient layer is formed. Corresponding to the shape of above-mentioned special surface type, light transmittance exposes the mask pattern of predetermined light transmittance distribution in the above-mentioned photosensitive ingredient layer using the mask for exposure which changes gradually. In the special surface type-like generating approach of making the thickness of the above-mentioned photosensitive ingredient layer changing according to the shape of target special surface type In case the pattern of the above-mentioned mask for exposure is exposed to the above-mentioned photosensitive ingredient layer, with the pattern formation side of the above-mentioned mask for exposure, an optical diffused-light study component is arranged to the field by the side of the light source in the opposite side. The generating approach of the shape of special surface type characterized by canceling the level difference of light transmittance distribution of the above-mentioned mask pattern by exposing a mask pattern by the diffused light.

[Claim 5] the creation of the shape of special surface type according to claim 2 -- the creation of the shape of special surface type characterized by arranging the functional film for optical diffusion which has a light transmission function in the opposite side of the pattern formation side of the mask for

exposure as the diffused-light generating approach in an approach, and canceling the level difference of light transmittance distribution -- an approach.

[Claim 6] the creation of the shape of special surface type according to claim 2 -- the creation of the shape of special surface type characterized by arranging the functional film for optical diffusion which has a light transmission function in the pattern formation side of the mask for exposure as the diffused-light generating approach in an approach, and canceling the level difference of light transmittance distribution -- an approach.

[Claim 7] the creation of the shape of special surface type according to claim 2 -- the creation of the shape of special surface type characterized by arranging the functional film for optical diffusion which has a light transmission function to both sides of the mask for exposure as the diffused-light generating approach in an approach, and canceling the level difference of light transmittance distribution -- an approach.

[Claim 8] any of claims 1-7, or the creation of the shape of special surface type of one publication -- the creation of the shape of special surface type to which light transmittance is characterized by to use the reticle mask to which the concentration distribution mask (gradation mask) which has the mask pattern which changes gradually, or the above-mentioned concentration distribution mask was expanded with the predetermined dilation ratio as the above-mentioned mask for exposure in an approach corresponding to the shape of special surface type -- an approach.

[Claim 9] any of claims 1-8, or the creation of the shape of special surface type of one publication -- the creation of the shape of special surface type characterized by using a photoresist or a photo-setting resin as the above-mentioned photosensitive ingredient in an approach -- an approach.

[Claim 10] In the generating approach of the shape of special surface type according to claim 9, in using a photoresist as a photosensitive ingredient After exposing the mask pattern which has optical predetermined three dimension intensity distribution with a concentration distribution mask or a reticle mask in the photoresist layer applied to the front face of a substrate ingredient, The generating approach of the shape of special surface type characterized by carrying out patterning of the photoresist layer to the desired three-dimensional structure through processes, such as development, a rinse or postexposure jar BEKU, and resist hardening processing.

[Claim 11] In the generating approach of the shape of special surface type according to claim 9, in using a photo-setting resin as a photosensitive ingredient After applying a liquefied photo-setting resin to the front face of a substrate ingredient, a photo-setting resin layer exposes the mask pattern which has optical predetermined three dimension intensity distribution with the above-mentioned concentration distribution mask or a reticle mask in the condition of having a fluidity. A photo-setting resin layer is gradually stiffened from a front-face side by the irradiation time of exposure, fluid control by light exposure and heating, etc. The generating approach of the shape of special surface type characterized by making the front face of the above-mentioned resin layer deform by the volume decrease of a photo-setting resin and flow accompanying hardening, and carrying out patterning to the desired three-dimensional structure.

[Claim 12] any of claims 1-11, or the creation of the shape of special surface type of one publication -- the creation of the shape of special surface type characterized by to perform anisotropic etching to the above-mentioned photosensitive ingredient layer and a substrate, to engrave a substrate front face with the shape of surface type of the above-mentioned photosensitive ingredient layer, to move it, and to imprint it after making the thickness of the above-mentioned photosensitive ingredient layer change in an approach according to the shape of special surface type made into the purpose -- an approach.

[Claim 13] The optical element characterized by forming an optical curved surface in a photosensitive ingredient layer or a substrate ingredient front face using the generating approach of the shape of special surface type of any of claims 1-12, or one publication.

**\* NOTICES \***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the special surface type-like generating approach and optical element which have the three-dimensional structure.

[0002]

[Description of the Prior Art] The special field configuration represented in the spherical surface, the aspheric surface, etc. is used for the refracting interface and reflector of an optical element, and, these days, the micro lens, the micro-lens array, etc. are asked for the special field configuration in relation to a liquid crystal display component, a liquid crystal projector or optical communication, etc. Then, the approach of carrying out creation of the shape of special surface type which has the three-dimensional structure of a curved surface etc. on the front face of substrates, such as a glass metallurgy group and resin, as an approach of carrying out creation, without depending the shape of special surface type, such as the spherical surface and the aspheric surface, on die forming or polish is proposed. As the example, on the front face of the substrate ingredient which should form the shape of special surface type of the desired three-dimensional structure, apply photosensitive ingredients (photoresist etc.) to predetermined thickness, and an ingredient layer is formed. Corresponding to the shape of above-mentioned special surface type, light transmittance exposes the mask pattern of predetermined light transmittance distribution (optical intensity distribution) in the above-mentioned photosensitive ingredient layer using the mask for exposure which changes gradually. The approach of making the thickness of the above-mentioned photosensitive ingredient layer change according to the shape of target special surface type, and forming the shape of surface type of the three-dimensional structure is learned. (For example, creation of the shape of special surface type using a gradation mask and the manufacture approach given in JP,7-230159,A and JP,9-146259,A which this invention persons proposed previously, and a gradation mask approach). Since this approach is very excellent as the curved-surface formation approaches, such as a micro lens, and can form a desired curved-surface configuration with a very sufficient precision as the shape of surface type of a photosensitive ingredient layer by exposure of the mask pattern using the gradation mask (concentration distribution mask) as a mask for exposure and can imprint this curved-surface configuration with a precision sufficient as the shape of surface type of a substrate by anisotropic etching, it can form a desired curved-surface configuration with a sufficient precision.

[0003] However, although the special surface type-like generating approach using a gradation mask has many points of having excelled as the curved-surface formation approach of optical elements, such as a micro lens The gradation mask from which light transmittance changes gradually on the other hand corresponding to the shape of special surface type A mask pattern is exposed in a photosensitive ingredient layer using (for example, a gradation mask given in JP,9-146259,A). Since it is exposed as a discontinuity configuration also in case the thickness of a photosensitive ingredient layer is made to change according to the shape of target special surface type, and the discontinuous part of the light transmittance distribution curve in a mask is exposed by the photosensitive ingredient layer, there is a problem that a discontinuity configuration (level difference) is imprinted by the front face of a

photosensitive ingredient layer. Then, the approach of adding more light absorption ingredients as an approach of solving the above-mentioned trouble, using a photosensitive ingredient with blunt sensibility was required. Moreover, in the semi-conductor field, although the technique which carries out patterning using the mask for exposure could be set in the semi-conductor field and it was used, since it was the purpose to arrange the existence of the Rhine pattern two-dimensional, controlling the three-dimension configuration which changes in the height direction with high precision was not performed.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] This invention is made in view of the above-mentioned situation, and it aims at offering the optical element formed by the generating approach of the shape of new special surface type, and its generating approach. And in order to solve the conventional problem at the time of carrying out creation of the shape of special surface type using masks for exposure, such as a gradation mask (concentration distribution mask), in this invention, \*\* In case the discontinuous part of the light transmittance distribution curve in a mask is exposed by the photosensitive ingredient layer, make it a photosensitive ingredient layer not imprint as a discontinuity configuration (level difference). \*\* Carry out smoothing of the light transmittance distribution two-dimensional on the amount of light transmission in the unit cell which forms a light transmittance distribution curve, i.e., the mask for exposure, \*\* The light transmittance of masks for exposure, such as a concentration distribution mask Since the height of a photosensitive ingredient layer will also become monochrome concentration information on (quantity and low) if it is monochrome arrangement when it observes microscopically for every unit cell, and it exposes as it is The approach of carrying out a configuration imprint with high precision is proposed without dropping the sensibility of preventing this and \*\* photosensitivity ingredient, or making an ingredient change at a photosensitive ingredient with blunt sensibility, \*\* It is making into the technical problem to control the three-dimensions configuration which changes in the height direction continuously smoothly with high precision, and to offer the optical element which has the shape of special surface type which changes in the \*\* height direction continuously smoothly.

[0005]

[Means for Solving the Problem] On the front face of the substrate ingredient which should form the shape of special surface type of the desired three-dimensional structure, this invention applies a photosensitive ingredient to predetermined thickness, and forms a photosensitive ingredient layer. Corresponding to the shape of above-mentioned special surface type, light transmittance exposes the mask pattern of predetermined light transmittance distribution (optical intensity distribution) in the above-mentioned photosensitive ingredient layer using the mask for exposure which changes gradually. the creation of the shape of special surface type the thickness of the above-mentioned photosensitive ingredient layer is made to change according to the shape of target special surface type -- an approach and the creation of the shape of the special surface type -- it is related with the optical element manufactured by the approach.

[0006] the creation of the shape of special surface type concerning this invention -- by the approach, the permeability which applied the photosensitive ingredient to predetermined thickness, formed the photosensitive ingredient layer as mentioned above on the front face of the substrate ingredient which should form the shape of special surface type of the desired three-dimensional structure, and was beforehand designed by the special approach corresponding to the shape of target special surface type exposes a mask pattern in a photosensitive ingredient layer using the mask for exposure which changes gradually. The pattern exposed here is a three-dimension pattern formed with the above-mentioned mask for exposure. The above-mentioned mask for exposure is given with the function called for experimentally from the "sensitivity curve" of the photosensitive ingredient applied to the substrate ingredient front face, and the relation of the "amount of light energies" of each unit cell which constitutes the mask for exposure. Here, it means that a "sensibility property" and the "amount of light transmission" of a photosensitive ingredient change asking experimentally with process conditions. That is, it means that the functions which will be given if a process condition parameter is changed also differ.

The "sensitivity curve" of a photosensitive ingredient is fundamentally determined due to the optical exposure energy to a photosensitive ingredient, and the photosensitive component of an ingredient. However, it is the curve (namely, function) changed according to photolithography conditions, exposure conditions, development conditions, or baking conditions at the time of patterning etc. Moreover, since an absorption-of-light multiplier changes with molecular structures by which the amount of light transmission is contained in a photosensitive ingredient, in case light advances the inside of a photosensitive ingredient, light energy (quantity of light) decreases according to the depth. That is, the thickness (depth) and the amount of exposure light energies of a photosensitive ingredient have the relation of an inverse proportion. Therefore, if "light transmittance" of the mask for exposure and the "sensibility" (rate of light absorption) of a photosensitive ingredient are combined from experimental data, it will become possible to form the light energy distribution which has distribution in the thickness direction of a photosensitive ingredient.

[0007] By the above-mentioned approach, this invention aims at forming the structure with which forming the photosensitive ingredient of a certain height (thickness) as a two-dimensional Rhine pattern has the pattern nature controlled in the not the purpose but shape of special surface type of the three-dimensional structure, i.e., the height direction, like a semi-conductor process. And it sets to the generating approach of the shape of special surface type of the three-dimensional structure of making the thickness of a photosensitive ingredient layer changing with above-mentioned approaches. If a mask pattern is exposed as it is by stepper exposure, alignment exposure, etc. at the time of exposure of the mask pattern to a photosensitive ingredient layer Monochrome concentration information on the unit cell of the mask for exposure will be imprinted in a photosensitive ingredient layer as it is, and it becomes the two-dimensional array of Rhine - and - tooth space like [ at the time of patterning of a semi-conductor ], so that the engine performance of a stepper aligner etc. is high.

[0008] So, in this invention, the approach of defocusing a focus intentionally is adopted as the light energy distribution manufacture approach of the direction of a three dimension of the pattern at the time of exposure. That is, in case the pattern of the mask for exposure is exposed to the photosensitive ingredient layer on a substrate, it defocuses (\*\*\*\*\* carrying out), focal dotage of the exposure pattern is carried out slightly, and the level difference of light transmittance distribution of a mask pattern is canceled (claims 1 and 3).

[0009] Moreover, as an option, by this invention, in case light transmittance exposes a pattern in the photosensitive ingredient layer on a substrate using the mask for exposure which changes gradually, the level difference of light transmittance distribution is canceled by exposing a mask pattern by the diffused light (claim 2). There is the approach of arranging the optical element which adds an oblique-incidence component to a part for Mitsunari which is made to diffuse exposure light and carries out incidence to the unit cell of the mask for exposure in the opposite side as an example of the method which exposes a mask pattern by the diffused light at the field, i.e., optical incidence of exposure, side by the side of the light source with the pattern formation side of the mask for exposure used at the time of exposure. In case the pattern of the mask for exposure is exposed to a photosensitive ingredient layer, with the pattern formation side of the mask for exposure, an optical diffused-light study component is arranged to the field by the side of the light source in the opposite side, and, more specifically, the level difference of light transmittance distribution of a mask pattern is canceled by exposing a mask pattern by the diffused light (claim 4). here , as for the oblique incidence component for Mitsunari which carry out incidence to the mask for exposure , it be possible to make it change with the optical designs of an optical diffused light study component ( diffuser ) , and whenever [ target oblique incidence component , i.e. , diffusion angle , ] can be manage with very sufficient repeatability by change the regular properties ( the pitch of the fine structure , height , pattern width of face , refractive index of an ingredient , etc. ) of a diffuser . Moreover, in case the light which has the diffusion component which passed the diffuser passes through the inside of the mask for exposure and it arrives at a pattern side, the light of an oblique-incidence component is diffracted on the pattern boundary of a unit cell,

respectively, and reaches a photosensitive ingredient. Therefore, the level difference of the digital pattern of the mask for exposure is cancelable.

[0010] Furthermore, as an option, by this invention, in case the pattern of the mask for exposure is exposed to the photosensitive ingredient layer on a substrate, as the diffused-light generating approach, the functional film for optical diffusion which has a light transmission function in the field of the opposite side is arranged, and the level difference of light transmittance distribution of the above-mentioned mask pattern is canceled by exposing a mask pattern by the diffused light with the pattern formation side of the above-mentioned mask for exposure (claim 5). More specifically, the functional film for optical diffusion is formed in the field of the opposite side with the pattern formation side of the mask for exposure by "the manufacture approach (Japanese Patent Application No. No. 294346 [ three to ], Japanese Patent Application No. No. 297400 [ three to ]) of the birefringence film by plasma vacuum deposition etc." by these people etc. Optical diffusibility ability (the amount of birefringences) can be changed by having thin film composition of at least three or more layers so that it may have an optical diffusion function while this functional film for optical diffusion has a light transmission function, penetrating efficiently the light which carries out incidence to a mask substrate, and changing thickness and the membrane formation matter again. Therefore, in case the light which has the diffusion component which passed the functional film for optical diffusion passes through the inside of the mask for exposure and it arrives at a pattern side, the light of a diffusion component is diffracted on the pattern boundary of a unit cell, respectively, and reaches a photosensitive ingredient. Therefore, the level difference of the digital pattern of the mask for exposure is cancelable.

[0011] As an option, by this invention, in case the pattern of the mask for exposure is exposed to a photosensitive ingredient layer, as the diffused-light generating approach, the thin functional film for optical diffusion which has a light transmission function in the pattern formation side of the above-mentioned mask for exposure is arranged, and the level difference of light transmittance distribution of the above-mentioned mask pattern is canceled by exposing a mask pattern by the diffused light further again (claim 6). More specifically, the functional film for optical diffusion is formed in the pattern formation side of the mask for exposure by "the manufacture approach (Japanese Patent Application No. No. 294346 [ three to ], Japanese Patent Application No. No. 297400 [ three to ]) of the birefringence film by plasma vacuum deposition etc." by these people etc. Optical diffusibility ability (the amount of birefringences) can be changed by having thin film composition of at least three or more layers so that it may have an optical diffusion function while this functional film for optical diffusion has a light transmission function, penetrating efficiently the light which penetrated the pattern side of a mask substrate, and changing thickness and the membrane formation matter again. Therefore, since the light which passed through the pattern side of the mask for exposure reaches a photosensitive ingredient as a light which penetrates the functional film for optical diffusion and has a diffusion component, it can cancel the level difference of the pattern of the mask for exposure. Moreover, since the functional film for optical diffusion is formed in the pattern formation side of the mask for exposure in this case, as compared with claim 5, a thin thin film realizes the same function. In addition, by the approach of above-mentioned claim 5 or claim 6, although the functional film for optical diffusion is arranged to the field of one side of the mask for exposure as the diffused-light generating approach, the functional film for optical diffusion which has a light transmission function to both sides of the mask for exposure may be arranged (claim 7).

[0012] the creation of the shape of special surface type of this invention -- in an approach, the reticle mask to which the concentration distribution mask (gradation mask) which has the mask pattern from which light transmittance changes gradually as a mask for exposure corresponding to the shape of special surface type, or the above-mentioned concentration distribution mask was expanded with the predetermined dilation ratio can be used (claim 8). Here as a concentration distribution mask (gradation mask) "\*\* Form the film of a metal and/or a metallic oxide on a transparence substrate, divide this film into two or more unit cells, and control the area of opening in each unit cell (light transmission field).



What [ was set up so that the area of the light transmission field of each unit cell might make predetermined light transmittance distribution corresponding to the shape of special surface type made into the purpose ]” “\*\* On a transparence substrate, thickness forms the film which changes gradually with a metal and/or a metallic oxide, and changes. What was set up so that predetermined light transmittance distribution might be made corresponding to the shape of special surface type which controls the thickness of this film for every unit cell, and change of the thickness of the whole and each unit cell makes the purpose”, and \*\* “as an approach of controlling the amount of light transmission of each unit cell With the optical exposure method shown in JP,7-230159,A by this invention persons in order to give the overall light transmission quantity of light distribution corresponding to a desired configuration There are “light transmission area”, “a thing which enabled it to manufacture a gradation mask suitably with a synthetic combination of light transmittance (Cr thickness)”, etc. of the light which penetrates each unit cell. For example, the gradation mask indicated as a type of \*\* by JP,9-146259,A by this invention persons can be changed suitably, and can be used. Moreover, although this concentration distribution mask is produced by actual size to the shape of desired surface type and the mask pattern of actual size is exposed to a photosensitive ingredient layer by the alignment exposing method or the stepper exposing method of actual size In using the expansion concentration distribution mask (reticle mask) which was designed with the predetermined dilation ratio to the shape of desired surface type, and was produced by which method of the above-mentioned \*\*, \*\*, and \*\* The stepper exposing method which carries out contraction exposure of the mask pattern of a reticle mask with the stepper aligner of a contraction exposure type at a photosensitive ingredient layer is employable.

[0013] Furthermore in the generating approach of the shape of special surface type of this invention, a photoresist or a photo-setting resin can be used as the above-mentioned photosensitive ingredient (claim 9). Here, in using a photoresist as a photosensitive ingredient, after exposing the mask pattern which has optical predetermined three dimension intensity distribution with the above-mentioned concentration distribution mask or a reticle mask to the photoresist layer applied to the front face of a substrate ingredient, it carries out patterning of the photoresist layer to the desired three-dimensional structure at it through processes, such as development, a rinse or postexposition jar BEKU, and resist hardening processing, (claim 10). moreover, as a photosensitive ingredient, in using a photo-setting resin (resin hardened by the exposure of the light, ultraviolet radiation, or infrared light) Apply a liquefied photo-setting resin to the front face of a substrate ingredient, and a photo-setting resin layer exposes the mask pattern which has optical predetermined three dimension intensity distribution with the above-mentioned concentration distribution mask or a reticle mask in the condition of having a fluidity. Stiffen a photo-setting resin layer gradually from a front-face side by the irradiation time of exposure, fluid control by light exposure and heating, etc., the front face of the above-mentioned resin layer is made to deform by the volume decrease of a photo-setting resin and flow accompanying hardening, and patterning is carried out to the desired three-dimensional structure (claim 11).

[0014] In this invention, after making the thickness of the above-mentioned photosensitive ingredient layer change according to the shape of special surface type made into the purpose, anisotropic etching can be performed to the above-mentioned photosensitive ingredient layer and a substrate, and a substrate front face can be engraved with the shape of surface type of the above-mentioned photosensitive ingredient layer, and furthermore, it can move by the generating approach of the shape of any of the claims 1-8, or special surface type one publication, and can imprint (claim 12). Moreover, by setting a selection ratio (\*\*\*\* rate of the \*\*\*\* rate / photosensitive ingredient layer of a substrate) as values other than one, in case the above-mentioned anisotropic etching is performed, by the difference of elevation of the shape of toothing which a start configuration has being expandable, or being able to reduce, also being able to imprint to a substrate, changing a selection ratio in time, and controlling the temporal response of a selection ratio, a start configuration can be deformed into a desired configuration and can also be imprinted. And if such an approach is used, the aspheric surface etc. can be formed easily, for example. Moreover, unlike the approach by die forming or polish, since formation of



a very small curved surface is also possible, it is suitable as the formation approach of the refracting interface configuration of the micro optical element which makes a micro lens the start, or a reflector configuration.

[0015] the creation of the shape of special surface type which mentioned the optical element of this invention above -- it is obtained using an approach by forming an optical curved surface in a photosensitive ingredient layer or a substrate ingredient front face (claim 13). Under the present circumstances, the above-mentioned optical curved surface can consist of the spherical surface, the aspheric surface, or a continuation side like a cone configuration. Moreover, the above-mentioned optical curved surface can also consist of a continuation side and surface of discontinuity like the Fresnel configuration. Furthermore, by using the above-mentioned optical curved surface as the refracting interface of light transmission nature, it can function as optical elements, such as a lens and prism, and various transparency mold optical elements, such as a micro lens, a micro-lens array (MLA), prism, a prism array, and a Fresnel lens, are obtained. Moreover, a reflective mold optical element is obtained by forming the reflective film in the above-mentioned optical curved surface by approaches, such as vacuum evaporation, and considering as a reflector.

[0016]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the operation gestalt of this invention is explained to a detail with reference to a drawing. Drawing 1 is the process explanatory view showing 1 operation gestalt of the generating approach of the shape of special surface type concerning this invention. In drawing 1 (a), a sign 10 is a substrate which consists of a glass metallurgy group, resin, etc., a photosensitive ingredient is applied to the front face of this substrate, and the photosensitive ingredient layer 11 is formed. Here, the case where a photoresist is used as an example of a photosensitive ingredient is explained. After this photoresist 11 is applied to a substrate 10, baking of it is carried out and it serves as a resist layer. In addition, the photoresist used in the example of drawing 1 is the thing of a positive type.

[0017] Next, the flux of light LF of the mask pattern which had optical three dimension intensity distribution like illustration by the predetermined approach using the mask for exposure is exposed to the photoresist layer 11 formed on the substrate 10 as shown in drawing 1 (b). The concentration distribution mask which has the mask pattern from which light transmittance changes gradually as this mask for exposure, for example corresponding to the shape of desired surface type (gradation mask), The reticle mask to which the above-mentioned concentration distribution mask was expanded with the predetermined dilation ratio is used. Or as the exposure approach The approach of carrying out stepper exposure at a photoresist layer using the concentration distribution mask produced by actual size to the shape of desired surface type, The alignment exposing method which this mask is made to stick or approach a photoresist layer, and exposes it, Or there is the stepper exposing method which carries out contraction exposure of the mask pattern at a photoresist layer with a stepper aligner using the reticle mask produced with the predetermined dilation ratio to the shape of desired surface type. In addition, about the detail of a concentration distribution mask or the exposure approach, it mentions later.

[0018] Postexposure jar BEKU (PEB) processing of the photoresist layer 11 is carried out after development and a rinse after exposure of the above-mentioned mask pattern, and patterning of the photoresist layer 11 is carried out in three dimension according to the shape of desired surface type. If this patterning process is completed, as shown in drawing 1 (c), the shape of surface type corresponding to the optical intensity distribution at the time of exposure (configuration where a part with less light exposure has the thicker thickness of a resist layer) will be formed of the resist layer 11. Next, the shape of surface type of the three-dimensional structure as shown in drawing 1 (d) is formed in a substrate front face by performing an etching process, performing anisotropy dry etching of a predetermined selection ratio to the resist layer 11 and substrate 10 which had the shape of desired resist surface type formed, carving the shape of surface type of the resist layer 11 as the shape of surface type of a substrate 10, moving it, and imprinting it. In addition, in this etching process, when the

selection ratio of the above-mentioned anisotropic etching is set up more greatly (namely, the \*\*\*\* rate of a substrate 10 more greatly than the \*\*\*\* rate of the resist layer 11) than 1 difference-of-elevation [ of the shape of surface type in the resist layer 11 ]: -- difference-of-elevation:  $H$  of the shape of surface type of a substrate 10 which had the shape of above-mentioned surface type imprinted to  $h$  -- being large ( $H > h$ ) -- it becomes 1, then  $H = h$  about a selection ratio, and it will become  $H < h$  if a selection ratio is set up smaller than 1.

[0019] The example of drawing 1 is an example in which the curved-surface configuration 12 of a convex which consists of the spherical surface or the aspheric surface was formed on the substrate front face, by using the above-mentioned curved surface as a refracting interface using the optical substrate which consists of a glass substrate transparent as a substrate 10, or a resin substrate, can be used as optical elements 13, such as a micro lens, and can form a micro-lens array here by forming two or more these curved-surface configurations in-dimensional [ 1 ] or a two-dimensional array array. Moreover, if the reflective film is formed by vacuum evaporation, sputtering, etc. on the above-mentioned curved-surface configuration, a reflective mold optical element will be obtained.

[0020] Next, drawing 2 is the process explanatory view showing another operation gestalt of the generating approach of the shape of special surface type concerning this invention. In drawing 2 (a), a sign 14 is a substrate which consists of a glass metallurgy group, resin, etc., a photosensitive ingredient is applied to the front face of this substrate, and the photosensitive ingredient layer 15 is formed. Here, the case where the photo-setting resin (resin hardened by the exposure of the light, ultraviolet radiation, or infrared light) to which the volume decreases with hardening as an example of a photosensitive ingredient is used is explained. Although spreading to the substrate 14 of this photo-setting resin can be performed by the roll coat method, the spin coat method, or the dipping method, it is desirable after spreading formation of the resin layer 15 by the photo-setting resin to raise the fluidity of the resin in this resin layer 15, and to graduate the front face of the resin layer 15 so that the front face of the formed resin layer may turn into a flat surface without a wave etc.

[0021] Next, the flux of light LF of the mask pattern which had optical three dimension intensity distribution like illustration by the predetermined approach using the mask for exposure is exposed to the resin layer 15 formed on the substrate 14 as shown in drawing 2 (a). The concentration distribution mask which has the mask pattern from which light transmittance changes gradually as this mask for exposure, for example corresponding to the shape of desired surface type (gradation mask), The reticle mask to which the above-mentioned concentration distribution mask was expanded with the predetermined dilation ratio is used. Or as the exposure approach The approach of carrying out stepper exposure at a resin layer using the concentration distribution mask produced by actual size to the shape of desired surface type, The stepper exposing method which carries out contraction exposure is in a resin layer about a mask pattern with a stepper aligner using the reticle mask produced with the predetermined dilation ratio to the desired shape of the alignment exposing method which this mask is made to stick or approach a resin layer, and exposes it, or surface type. In addition, about the detail of a concentration distribution mask or the exposure approach, it mentions later. Moreover, as the light source for exposure, it is suitably chosen by the class and the exposing method of a photo-setting resin, and there are various lamps, such as an ultraviolet ray lamp, a halogen lamp, and an infrared lamp, the various laser light sources of an ultraviolet region - infrared region, etc., for example, if a photo-setting resin is ultraviolet-rays hardening resin, the ultraviolet-rays light sources, such as the laser light source of ultraviolet ray lamps, such as a mercury-vapor lamp and a metal halide lamp, or an ultraviolet region, will be used as the light source.

[0022] Drawing 2 (b) is drawing the condition in the comparatively early stage after exposure process initiation. If the exposure of the flux of light LF of optical predetermined intensity distribution is received, hardening will start the resin layer 15 from a front-face side. In drawing 2 (b), sign 15a shows the hardened resin part, and since hardening progresses in the optical intensity distribution of the exposure flux of light LF in a part with larger reinforcement, the configuration of hardened resin partial 15a

becomes a thing like illustration. As for the photo-setting resin which constitutes the resin layer 15, the volume decreases with hardening. That is, the resin which constitutes the resin layer 15 is contracted with hardening. The part (part which performed hatching) shown by sign 15b in drawing 2 (b) shows the volume part which decreased in connection with resin partial 15a by the side of a resin layer front face having hardened from the condition of drawing 2 (a).

[0023] Since the resin which constitutes the resin layer 15 is in a flow condition when an exposure process is performed, if the volume decrease by contraction arises as mentioned above, a flow will arise so that resin partial 15c in the flow condition of not hardening may be compensated for the above-mentioned volume decrease (the arrow head in drawing shows the situation of this flow as an explanatory view). If time amount furthermore passes, resin partial 15a hardened in the resin layer will grow by hardening, and will become the \*\*\*\* configuration shown in drawing 2 (c). Sign 15b shows the volume part which decreased with hardening like the above, and the arrow head in drawing shows the flow condition of resin partial 15c which is not hardened [ which is going to compensate volume partial 15b which decreased ]. Here, advance of hardening in a part with the strong optical reinforcement of the exposure flux of light LF is quick, and since reduction of the volume accompanying hardening is also large, the inflow of the resin from a perimeter is also large. For this reason, in the part in which the flux of light with optical large reinforcement was irradiated, in the part in which the taper bundle was relatively irradiated about surrounding optical reinforcement from the perimeter to the inflow of resin always being performed, when resin flows into the Takamitsu part on the strength, a resin layer front face falls relatively.

[0024] Thus, exposure is performed continuously, and if the resin which constitutes the resin layer 15 hardens completely, as shown in drawing 2 (d), hardened resin layer 15A will become the curved-surface configuration of the convex according to the optical intensity distribution of the exposure flux of light LF of the mask pattern used at the exposure process. Then, if a transparent photo-setting resin is used in the state of hardening, the curved surface of such a convex can be used as for example, a convex lens side (refracting interface of a convex). Moreover, if [ whose distribution of the optical reinforcement of the mask for exposure in an exposure process is / like drawing 4 (a-1) ] according to these optical intensity distribution, it can be made a thing as shows the configuration of hardened resin layer 15B to drawing 4 (a-2), and distribution of optical reinforcement that it comes like drawing 4 (b-1), and is a thing According to these optical intensity distribution, it can be made \*\*\*\*\* which shows the configuration of hardened resin layer 15C to drawing 4 (b-2). That is, as the shape of surface type of the hardened resin layer, various gestalten, such as a convex and a concave surface, are possible by the pattern design of the mask for exposure. Moreover, when it sees in three dimension, the field from which curvature differs in the shape of a cylindrical shape and the direction which intersects perpendicularly mutually of the configuration and convex of axial symmetry, or concave can be formed.

[0025] In drawing 2 (d), although the photo-setting resin layer curved-surface-ized by hardening in the front face on the substrate 14 is usable as a convex lens side etc. as it is, it can imprint the shape of surface type of resin layer 15A to a substrate 14 by anisotropic etching. Drawing 3 (a) shows the condition of having formed layer 15A of the photo-setting resin curved-surface-ized in the front face by the process shown in drawing 2 on the substrate 14. As anisotropic etching of a predetermined selection ratio is performed to resin layer 15A and the substrate 14 which were hardened and it is shown in drawing 3 (b) from the condition of this drawing 3 (a), the shape of surface type of resin layer 15A can be imprinted to a substrate 14. Moreover, it is also possible by adjusting a selection ratio in the case of etching to also expand difference-of-elevation:H in the curved-surface configuration 16 imprinted by the substrate 14 to difference-of-elevation:h of the curved-surface configuration of a resin layer 15A front face and to reduce.

[0026] Next, an example of the concentration distribution mask (gradation mask) used at the exposure process in the production process shown in drawing 1 or drawing 2, its manufacture approach, and the exposure approach using the gradation mask is explained. Drawing 5 is drawing for explaining an example

of a gradation mask, and is the top view expanding and showing some gradation masks 17. This gradation mask 17 forms the light-shielding film which becomes transparence substrates, such as parallel monotonous glass, from metal metallurgy group compounds, such as chromium (Cr), etc. by vacuum evaporation etc., and it is set up so that patterning of this light-shielding film may be carried out, it may come to arrange the minute light transmission section and the area of each light transmission section may make predetermined light transmittance distribution. In drawing 5, in order to make explanation easy to simplify and understand, the lined-off part shows the case of the square field of magnitude whose one side is about several micrometers. Although it is needless to say, it is not necessary to be a square-like. The light transmission section AP with a rectangle configuration minute as an example is formed in each unit cell by using this square field as a unit cell. Although it is needless to say also here, the above-mentioned light transmission section can be made to form by the shape of a polygon which does not need to be a rectangle configuration and includes a circle configuration. Since the quantity of light which penetrates this light transmission section AP is proportional to the area of the light transmission section AP, as shown in drawing, the amount of transmitted lights can form the two-dimensional permeability distribution which changes gradually by changing the area of the light transmission section AP of a rectangle configuration two-dimensional, and arranging a unit cell, for example.

[0027] Here, when forming the shape of special surface type of the three-dimensional structure of requests, such as a micro-lens array for liquid crystal, by the production process as shown in drawing 1 as an example, as a photosensitive ingredient applied on the substrate ingredient front face which should form the shape of the special surface type, a commercial photoresist ingredient (Tokyo adaptation Make TGMPR- 950 (trade name)) etc. is used, for example. First, the relation between the optical dose of a resist ingredient and the amount of resist removal is grasped, and a sensitivity curve is searched for. Subsequently, the gradation mask used as a model is designed and manufactured corresponding to the shape of surface type of the desired three-dimensional structure. This gradation mask consists of unit cells divided into the square like an example shown in drawing 5, it is designed two-dimensional so that the light transmission field in each unit cell may serve as permeability distribution according to the shape of desired surface type, and the amount of light transmission in each unit cell is controlled.

[0028] Here as the control approach of the light transmittance of the unit cell which constitutes a gradation mask The approach of controlling the opening area of \*\*Cr film, when Cr film is formed in transparence substrates, such as quartz glass, as a light-shielding film, the approach of controlling the thickness of \*\*Cr film, Or \*\* "in order to give the overall light transmission quantity of light distribution corresponding to a desired configuration as an approach of controlling the amount of light transmission of each unit cell Although there are the "light transmission area" and the "approach of manufacturing a gradation mask suitably with a synthetic combination of light transmittance (Cr thickness)" of the light which penetrates each unit cell with an optical exposure method, it carries out by the approach of \*\* as an example here. That is, as the manufacture approach of the gradation mask of the above unit-cell configurations, on transparence substrates, such as quartz glass, Cr film with a thickness of 200nm is formed by vacuum evaporation etc., a photosensitive positive-resist ingredient is applied on this, and mask BURANKUSU is formed first. And patterning is carried out two-dimensional so that it may become permeability distribution of the "light transmission area" of the light which irradiates a light beam with light beam irradiation equipment, and penetrates each unit cell, and the configuration of a request with a synthetic combination of "light transmittance (Cr thickness)" to the resist ingredient layer of above-mentioned mask BURANKUSU. Here, as light beam irradiation equipment, using a proprietary laser light irradiation device (laser drawing equipment) as shown in drawing 7, laser light is irradiated at the above-mentioned resist ingredient layer, and a mask pattern is drawn.

[0029] The laser light irradiation device shown in drawing 7 The control device which controls the beam splitter 2 which divides the laser light from the laser light sender 1 and the laser light sender 1 into two or more laser light, the mirror 3 which bends the optical path of laser light, the optical modulator which

modulates laser light, and an optical modulator (with the signal from a data path 5) ON of each laser light, and OFF 4 and laser light to control The optical deflector and optical deflector to deflect It consists of main component parts, such as the optical interferometer 9 which controls actuation of the objective lens 7 for condensing the control device 6 to control and laser light in a resist ingredient layer, X-Y stage 8 which moves laid mask BURANKUSU in the direction of X, and the direction of Y, and X-Y stage 8. A desired mask pattern is drawn in the resist ingredient layer of mask BURANKUSU by controlling actuation of X-Y stage 8, ON of each laser light, and OFF according to a design data. That is, patterning is carried out two-dimensional so that laser light may be irradiated with a laser light irradiation device at a resist ingredient layer and it may become permeability distribution of a request of a light transmission field or a protection-from-light field for every unit cell. Moreover, in this case, the exposure of laser light is controlled according to permeability distribution of each unit cell calculated according to the shape of desired special surface type, and the area of the light transmission field in each unit cell is controlled.

[0030] And the resist ingredient part by which laser light was irradiated with this laser light irradiation device is removed by the next development and the rinse process, and a mask pattern is formed in a resist ingredient layer. Next, the gradation mask which has desired two-dimensional transmission distribution dry cleaning or by carrying out wet etching is obtained in Cr film by using as an etching mask this resist ingredient layer by which patterning was carried out.

[0031] Since the part from which \*\*Cr film (light-shielding film) was removed, the part to which \*\*Cr film becomes thin, and the part (protection-from-light field) in which \*\*Cr film remains are formed, one unit cell can be made to characterize and constitute as these synthetic amounts of light transmission within the unit cell of the gradation mask by which patterning was carried out by the above approaches. Therefore, the gradation mask of a configuration of that the light which penetrated the mask pattern has the optical three dimension intensity distribution corresponding to the shape of special surface type is obtained by constituting a mask pattern from two or more unit cells, designing two-dimensional so that the light transmission field in each unit cell may serve as permeability distribution according to the shape of desired special surface type, and controlling the amount of light transmission of each unit cell. Moreover, if a mask pattern is expanded, designed and manufactured with a predetermined dilation ratio at the time of the above-mentioned design, the reticle mask (expansion mask) used with the below-mentioned stepper aligner will be obtained.

[0032] By the way, since the amount of removal of a photosensitive ingredient changes with light exposure, the amount of defocusing, and light transmittance of a unit cell in case patterning of a photosensitive ingredient layer is performed using the above gradation masks, a sensitivity curve is created for every above-mentioned process conditions. That is, it is one function (it expresses as the amount of removal, and light transmittance (pattern No.), and the area of the light transmission field in each unit cell of a gradation mask, Cr thickness, etc. are determined.) about the relation characterized by light transmittance and the amount of removal of a photosensitive ingredient. In addition, the above "sensitivity curve (the amount of removal and light transmittance (pattern No.))" are convertible for a formula by graph-izing the above-mentioned relation and function-izing it.) And based on the above-mentioned formula, the relation of "the amount of survival of a photosensitive ingredient ("thickness of a photosensitive ingredient layer" - "amount of removal")" is mathematized as "the height of the shape of target surface type (for example, micro lens)." Subsequently, relation between a "lens arrangement location" and "lens height (the amount of resist survival)" is clarified on CAD of a computer. Furthermore, this is developed and it transposes to a "lens arrangement location" and the relation of the "unit-cell number" of a mask. Next, CAD data are data-ized, it sets to the computer of the control section of a laser light irradiation device, laser light is irradiated one by one at mask BURANKUSU, and a mask pattern is drawn. And if this is etched after carrying out a rinse, development and, the target gradation mask with which the unit cell of the "unit-cell number" corresponding to a desired lens configuration was regularly located in a line with the "lens arrangement location" can be manufactured. It follows, thus the gradation mask (or reticle mask) corresponding to the shape of surface type of the

target three-dimensional structure is designed and manufactured.

[0033] Next, the exposure approach using the gradation mask manufactured by the above-mentioned approach is described. The gradation mask which has arranged regularly the unit cell which has the above properties is manufactured, and a mask pattern is exposed by the predetermined approach to the photosensitive ingredient layer formed on the substrate which should form the shape of desired special surface type. Under the present circumstances, as the exposure approach, as are shown in drawing 8, and shown in the method using the aligner which projects and exposes the mask pattern of the gradation mask 25 by abbreviation actual size in the photosensitive ingredient layer 27 on a substrate 26, and drawing 9 To the photosensitive ingredient layer 27 on a substrate 26, it sticks or approaches, the gradation mask 28 is arranged, and there is an alignment exposure method which irradiates the flux of light BF of uniform optical intensity distribution from the tooth back of a mask. Further as a mask for exposure There is a stepper exposure method which carries out contraction exposure of the mask pattern using the stepper aligner of a configuration as shown in drawing 10 using the gradation mask expanded and formed with the predetermined dilation ratio to the shape of target surface type, i.e., a reticle mask.

[0034] Here, when the alignment and the contact aligner of drawing 8 and drawing 9 are used, after the flux of light emitted from the light source 21 was formed into the parallel flux of light with the collimate lens 22, and a vertical lower part bends an optical path by the mirror 23, it carries out incidence to the beam expander 24 and being expanded to the magnitude of a request of the diameter of the flux of light, the gradation mask 25 is passed. Since this gradation mask 25 has the permeability distribution for making desired distribution the optical intensity distribution of transmitted light flux as mentioned above, the flux of light which has desired optical intensity distribution is irradiated by the photosensitive ingredient layer 27 on a substrate 26, and a mask pattern is exposed. In the case of this exposure method, the exposure conditions of a mask pattern differ in the distance d of the gradation mask 25 and the photosensitive ingredient layer 27. Although the optical intensity distribution of the flux of light exposed by the photosensitive ingredient layer 27 will also become gradual according to gradual permeability distribution of the gradation mask 25 when the distance d of the gradation mask 25 and the photosensitive ingredient layer 27 is close When only a predetermined distance (the amount of alignment) separates the distance d of the photosensitive ingredient layer 27 from the gradation mask 25, a mask pattern will be exposed by diffraction operation of light in the condition [ \*\*\*\*\* ], and the level difference of optical intensity distribution can be canceled.

[0035] in addition, in the aligner of drawing 8, the light source 21 is suitably chosen according to the class of photosensitive ingredient layer 27, and when the photosensitive ingredient layer 27 is a photoresist The laser light source and the source of a lamp light of a wavelength region according to the sensibility of the photoresist are used, and when the photosensitive ingredient layer 27 is a photo-setting resin According to the class of the photo-setting resin, various lamps, such as an ultraviolet ray lamp, a halogen lamp, and an infrared lamp, the various laser light sources of an ultraviolet region - infrared region, etc. are used.

[0036] Moreover, although exposed by the exposure method as shown in drawing 9 according to the flux of light BF for exposure which \*\* minute spacing, arranges the gradation mask 28 to the photosensitive ingredient layer 27 on a substrate 26, and has uniform optical intensity distribution through the gradation mask 28 Although the optical intensity distribution immediately after passing the gradation mask 28 are carrying out gradual change according to the array of the minute light transmission section when the gradation mask of a unit-cell configuration as shown in drawing 5 is used It is made to defocus by giving a predetermined gap (for example, about 50 micrometers) between the gradation mask 28 and the photosensitive ingredient layer 27. Optical intensity distribution are continuously leveled by the diffusion of the light in this gap part, and exposure with continuous optical intensity distribution can be realized on the front face of the photosensitive ingredient layer 27.

[0037] Next, since contraction exposure of the mask pattern is carried out using the reticle mask



manufactured with the predetermined dilation ratio to the shape of desired surface type by the stepper exposing method which carries out contraction exposure of the mask pattern at the photosensitive ingredient layer on a substrate 29 with a stepper aligner as shown in drawing 10 , it is possible to carry out creation of the shape of desired special surface type with high precision. For example, when reducing and exposing a mask pattern to one fifth in a photosensitive ingredient layer by the stepper exposing method using the reticle mask manufactured by one 5 times the dilation ratio of this, it becomes possible to carry out creation of the shape of special surface type by one 5 times the precision of this compared with the method of drawing 8 or drawing 9 .

[0038] The stepper aligner shown in drawing 10 condenses the light from the light source lamp 30 with a condenser lens 31. Irradiate the reticle mask 32 as an exposure light of uniform optical reinforcement, and incidence of the light which penetrated the reticle mask 32 is carried out to the image formation lens 33 of a contraction scale factor. On the front face of the photosensitive ingredient on the substrate 37 laid on X-Y stage 34, image formation of the contraction image of the reticle mask 33 is carried out, sequential migration of X-Y stage 34 is carried out with stepping motors 35 and 36, and a mask pattern is exposed. Although the optical intensity distribution of the flux of light exposed by the photosensitive ingredient layer will also become gradual according to gradual permeability distribution of the gradation mask 32 when in the case of this exposure method a photosensitive ingredient layer is made to focus and the focal location of a mask pattern is exposed, by shifting the focal location of a mask pattern slightly from a photosensitive ingredient layer, a mask pattern will be exposed in the condition [ \*\*\*\*\* ] and the level difference of optical intensity distribution can be canceled.

[0039] Next, drawing 6 is drawing for explaining another example of a gradation mask. As this gradation mask 18 is shown in drawing 6 (a), it comes to form the film 20 from which thickness changes to one side of the transparent parallel plate 19 as a transparence substrate gradually with a metal and/or a metallic oxide, and change of the thickness of the film 20 is set up so that predetermined light transmittance distribution may be made. Thus, there are some which were indicated as a gradation mask 18 from which thickness changes gradually by JP,9-146259,A previously proposed by this invention persons, for example, and the approach by which the manufacture approach was also indicated by the above-mentioned official report can be used suitably.

[0040] Each exposure method which explained as an exposure method with reference to above-mentioned drawing 8 , drawing 9 R> 9, and drawing 10 also in the gradation mask of a configuration as shown in drawing 6 (a) can be used. Here describes the exposure approach by the alignment method of drawing 9 as an example. The gradation mask 18 shown in drawing 6 (a) is made close to the front face of a photosensitive ingredient layer (a photoresist layer or photo-setting resin layer). Although it will become gradual optical intensity distribution as shown in drawing 6 (b) in the front face of a photosensitive ingredient layer by gradual permeability change according to a gradual thickness change of the film 20 if the flux of light of optical intensity distribution uniform from the field (field of the opposite side of the parallel plate 19) in which the film 20 is not formed is irradiated Also in this case, if the gradation mask 18 is isolated between minute to a photosensitive ingredient layer and it irradiates with a uniform light from the field of the opposite side The pattern of optical intensity distribution which changes continuously smoothly as shown in drawing 6 (c) to a photosensitive ingredient layer is exposed by diffusion of the light in the above-mentioned minute spacing. Moreover, when using the stepper aligner shown in drawing 10 , by shifting the focal location of a mask pattern slightly from a photosensitive ingredient layer, a mask pattern will be exposed in the condition [ \*\*\*\*\* ] and the level difference of optical intensity distribution can be canceled.

[0041] As mentioned above, although the example of a gradation mask and an exposure method was explained Although the above-mentioned example described how to make defocus at the time of exposure of a mask pattern, and expose as an approach of canceling the level difference of light transmittance distribution of a gradation mask as shown in drawing 5 or drawing 6 As the other level difference dissolution approaches, with the pattern formation side of the mask for exposure, an optical

diffused-light study component is arranged to the field by the side of the light source in the opposite side, and there is the approach of canceling the level difference of light transmittance distribution of a mask pattern by exposing a mask pattern by the diffused light. Drawing 1111 shows the example and the pattern formation side of the gradation mask 37 with which mask pattern 38b by Cr film was formed on quartz substrate 38a is an example which has arranged the optical diffused-light study component 39 to the field by the side of the light source in the opposite side. As this optical diffused-light study component 39, it can form in substrate 38a before mask pattern formation directly, and a micro-lens array (pitch:5micrometer and height:1.2micrometer) (MLA) is formed in the optical incidence side of substrate 38a by a resist heat displacement method etc. as an example. Subsequently, with the field in which the optical diffused-light study component 39 of substrate 38a was formed, if mask pattern 38b by Cr film is formed in the field of the opposite side, the gradation mask 37 equipped with the optical diffused-light study component 39 will be obtained. With the gradation mask 37 of a configuration of being shown in drawing 11, since it has the optical diffused-light study component 39 which is from a minute micro-lens array on an optical plane-of-incidence side, a mask pattern can be exposed by the flux of light which has a diffusion component, and the level difference of light transmittance distribution of a mask pattern can be canceled.

[0042] To the pan which cancels the level difference of light transmittance distribution of a gradation mask, next, as an option With the pattern formation side of the mask for exposure, the field (field by the side of optical incidence) of the opposite side, or the pattern formation side (field by the side of optical outgoing radiation) of the mask for exposure, Or the functional film for optical diffusion which has a light transmission function is arranged to the field of both masks for exposure, and the approach of canceling the level difference of light transmittance distribution of the above-mentioned mask pattern is in it by exposing a mask pattern by the diffused light. After drawing 12 manufactures the gradation mask with which the example is shown and the mask pattern 45 by Cr film was formed on the quartz substrate 40, to the pattern formation side of the gradation mask An under coat 41 (SiO etc.), Carrying out sequential formation of the functional film 42 for optical diffusion (Ta 2O5, W2O5 grade), and the acid-resisting functional film (ZrO2/MgF2/ZrO2 grade), the pattern formation side of the quartz substrate 40 is the example in which the acid-resisting functional film 44 was formed to the field (field by the side of optical incidence) of the opposite side. With the gradation mask of a configuration of being shown in drawing 12, since the pattern formation side is equipped with the functional film for optical diffusion which has an optical diffusion function and the acid-resisting functional film, a mask pattern can be exposed by the flux of light which has a diffusion component, and the level difference of light transmittance distribution of a mask pattern can be canceled. In addition, in the example of drawing 12, although the functional film for optical diffusion is formed in a pattern formation side side, even if it forms the functional film for optical diffusion in the field (field by the side of optical incidence) of the opposite side, or both fields, the same effectiveness is acquired with the pattern formation side of the quartz substrate 40.

[0043] As mentioned above, although the example of the exposure method using the mask for exposure concerning this invention (a gradation mask or reticle mask) and its mask and the level difference dissolution approach of light transmittance distribution was explained, by choosing these masks and an exposure method suitably, and using them, the smooth optical intensity distribution shown at the exposure process in drawing 1 or drawing 2 can be realized, and creation of the shape of surface type of the three-dimensional structure of the request by which the level difference was canceled by the photosensitive ingredient layer can be carried out. Moreover, the shape of surface type which carried out creation to the photosensitive ingredient layer can be imprinted to a substrate.

[0044] Next, it is possible by performing anisotropic etching to a photosensitive ingredient layer and a substrate, and changing the selection ratio of anisotropic etching in time, in case a substrate front face is engraved with the shape of surface type of the above-mentioned photosensitive ingredient layer, it is moved and is imprinted to make the shape of surface type imprinted on a substrate transform. Drawing 13 (a) shows the condition of having formed the resist layer 11 curved-surface-ized in the front face on

the substrate 10. In the etching process which makes such a curved-surface configuration a start configuration, if a selection ratio is changed in time, as shown in a substrate 10 at drawing 13 (b), it can imprint as a completely different curved-surface configuration from a start configuration. By setting up more greatly than 1 the selection ratio when imprinting the Susono part (part shown by "I" all over drawing) of a start configuration in this example To a substrate 10, enlarge the inclination of this part I and imprint it, and on the occasion of the imprint of the following staging area II, set a selection ratio as abbreviation 1, and the configuration near a start configuration is imprinted. To the last, it is the central field III. Field [ in / on the occasion of an imprint, a selection ratio is set up again more greatly than 1, and / a start configuration ] III The difference of elevation is expanded and imprinted. Thus, changing a selection ratio, by performing an etching process, a request can be transformed into a start configuration and it can imprint as the shape of surface type 12 of a substrate 10.

[0045]

[Example] next, the creation of the shape of special surface type concerning this invention -- the example in the case where the micro-lens array (MLA) of a minute dimension used for a liquid crystal device is manufactured as a concrete example of an approach and an optical element, and the case of manufacturing the micro lens (ML) of the diameter of macrostomia and the amount of high sags as an optical element for optical communication is explained.

[0046] (Example 1) Drawing 15 is drawing showing an example of the liquid crystal device for liquid crystal projectors, in the sign 201 in drawing, a micro-lens array substrate and 203 show a flat-surface substrate, and, as for a TFT substrate and 202, 205 shows the liquid crystal layer. TFT201A for driving each pixel and a bus line (not shown) are formed in the field of the side which touches the liquid crystal layer 205 of the TFT substrate 201, and the part which is not covered with these TFT(s)201A and a bus line has become opening 201B as a pixel. Moreover, agreement 201C shows the transparence electric conduction film. The flat-surface substrate 203 which pinches the liquid crystal layer 205 with the TFT substrate 201 is a transparent parallel plate, the black matrix 204 is formed in the field of the side which touches the liquid crystal layer 205, and transparent electrode 204A is formed with the ITO film on this black matrix 204. It is formed in the field of the side which touches the flat-surface substrate 203 at the micro-lens array substrate 202 as a refracting interface, the array array, i.e., the micro-lens array, of a micro lens 302 of a convex. Drawing 16 is drawing showing the above-mentioned micro-lens array substrate 202, and a sign 303 shows the spacer section. The sign h in drawing shows the height (from micro-lens 302 forming face) of the spacer section 303, and h' shows the height of a micro lens 302. This h and h' need to fill related :h>=h', and the spacer section 303 is formed in the height more than the height of each micro lens 302.

[0047] An example 1 is an example which manufactures drawing 15 and the micro-lens array arranged in the minute pitch as shown in 16, and is an example which brings contiguity spacing of a micro lens 302 close to zero infinite, and manufactures it. the case where assumed pixel 302A of the liquid crystal device for liquid crystal projectors to be a square, and that pixel size (area) is made into XAxXA here as shown in drawing 17 -- 0.9" -- since the pixel size of the liquid crystal device for -XGA is abbreviation \*\*18x18 (micrometer), it is desirable to consider as the micro-lens array which has arranged the micro lens of the same magnitude as this pixel size ideally. however, when forming a micro-lens array and the lens agenesis section every 1 micrometer each is in the both sides of a lens, (when a clearance is between lenses) The ratio of the micro-lens array area which a lens formation field is set to field 302B shown with the broken line all over drawing, and the area XBxB is set to \*\*17x17 (micrometer), and is occupied in the whole area Even if it is set to  $(17 \times 17) / (18 \times 18) \times 100 = 289 / 324 \times 100 = 89.2$  and can condense all light effectively by the micro-lens array, it cannot but be 89.2% of condensing effectiveness. Therefore, it is desirable to bring contiguity spacing of a micro lens 302 close to zero infinite like [ when making area of the agenesis section of a micro lens small raises efficiency for light utilization, it is important, and ] drawing 15 and the example shown in 16.

[0048] Next, in manufacturing drawing 15 and a micro-lens array as shown in 16, the concentration

distribution mask first manufactured by the approach mentioned above is prepared beforehand. In this example, since 1/5 time as many contraction exposure as this is performed using a stepper aligner as shown in drawing 10 , the actually manufactured concentration distribution mask is a reticle mask (expansion mask) of the mask pattern which expanded the micro-lens configuration by 5 times, and, specifically, the reticle pattern dimension is  $90 \times 90$  (micrometer). Drawing 14 shows an example of the mask pattern for one micro lens, and this mask pattern 46 has opening area of Cr light-shielding film, and composition divided into the unit cell of a large number by which thickness was controlled. It is vertical x horizontal =  $30 \times 30$  (individual) = 900 (individual), using size of a unit cell as  $3.0 \times 3.0$  (micrometer) for the micro-lens part of this piece in this example.

The mask pattern divided into \*\*\*\*\* is designed. In the design of this mask pattern, the unit cell of the unit-cell number of No. 1 (condition in which Cr light-shielding film all remained) is arranged to a center-section unit cell (on a reticle mask :  $3 \times 3$  (micrometer)  $\rightarrow$  an actual pattern  $0.6 \times 0.6$  (micrometer)). Moreover, into the four-corners part of a micro-lens formation field, the unit-cell number of No. 80 (with no remaining part of Cr light-shielding film) is arranged. And distribution of the "opening area" corresponding to \*\* "gradation (the amount of light transmission)" and "Cr thickness" is made to correspond, to the unit cell of the unit-cell numbers 1-80 in the meantime, it designs so that it may become the two-dimensional transmission distribution according to the lens side configuration made into the purpose, and CAD data are created to it. In addition, this lens side configuration and the relation of a unit-cell number are relation obtained from the sensitivity curve of an exposure process and a photosensitive ingredient as mentioned above. Of course, if a photosensitive ingredient differs from an exposure process, it is necessary to grasp a sensitivity curve each time.

[0049] Based on the above-mentioned fundamental view, from the formula supported by detailed data and a program, a function attachment \*\*\*\*\* number is arranged for the unit-cell number of lens height and a mask pattern on the CAD design screen on a personal computer, and CAD data are created. Next, mask BURANKUSU which applied the photosensitive ingredient to quartz glass is prepared, inputting into the control section of a laser light irradiation device the CAD data created as mentioned above, and controlling migration of X-Y stage 8, ON of the laser light source 1, and OFF, after setting to X-Y stage 8 of the laser light irradiation device shown in drawing 7 , laser light is irradiated by the predetermined approach at mask BURANKUSU, and a mask pattern is drawn. And the mask pattern was obtained by the photosensitive ingredient layer by performing development and a rinse by the predetermined approach. Next, Cr film was etched with the wet etching liquid for Cr by using as an etching mask the photosensitive ingredient layer by which patterning was carried out. The reticle mask which has the opening area and thickness which each unit cell makes the purpose, and has the two-dimensional transmission distribution corresponding to a lens configuration as a whole was manufactured by the pattern as shown in drawing 14 by this approach.

[0050] Next, an example of the manufacture approach of the micro-lens array which used the above-mentioned reticle mask is described. As the manufacture approach, it carried out by the same production process as drawing 1 . First, as shown in drawing 1 R> 1 (a), it considers as the substrate 10 which should form the shape of desired surface type, and a neo SERAMU substrate is prepared, and the photoresist (Tokyo adaptation Make TGMR- 950 (trade name)) 11 of marketing as a photosensitive ingredient on this substrate 10 is applied so that it may become the thickness of 8.56 micrometers. Next, the substrate 10 which applied the photoresist 11 was carried on the hot plate, and it prebaked in BEKU time amount:180 seconds by whenever [ stoving temperature / of 100 degrees C ]. Next, it set on the X-Y stage of the stepper aligner of a configuration as the substrate 10 with which the resist layer 11 was formed was shown in drawing 10 , and stepper exposure was carried out by one 1/5 time the reduction percentage of this by using the above-mentioned reticle mask as the mask for exposure. Exposure conditions made the image formation location of a mask pattern defocus slightly from the front face of the resist layer 11, and made the exposure of +25 micrometers and the exposure flux of light LF 390mWx 1.92 seconds (illuminance: 720mJ) for the amount of defocusing. Moreover, in exposure of this

mask pattern, since the pattern of the optical intensity distribution corresponding to the lens side configuration of a micro-lens array is exposed as shown in drawing 1 (b), the resist layer 11 is exposed in three dimension corresponding to a micro-lens configuration. After the above-mentioned exposure process termination, by carrying out PEB (postexposure jar BEKU) for 270 seconds at the temperature of 105 degrees C, as shown in drawing 1 (c), the micro-lens configuration by the resist layer 11 was acquired. Subsequently, the above-mentioned substrate 22 was set in the vacuum tub of ultraviolet curing equipment, UV irradiation was carried out for 180 seconds, carrying out vacuum suction, and hardening of a resist layer was performed. The plasma-proof nature of a resist improves and can be equal now to processing at degree process with this actuation. In addition, the resist height at this time was 6.7 micrometers.

[0051] Next, the above-mentioned substrate 10 is set in the vacuum tub of a TCP dry etching system. Degree of vacuum : CHF3:5.0sccm after carrying out evacuation to  $1.5 \times 10^{-3}$  Torr, The mixed gas of CF4:50sccm and O2:20sccm was introduced in the vacuum tub, and dry etching of an anisotropy was performed under the conditions which made 1.25kW and substrate cooling temperature -20 degrees C for the power of the up electrode (antenna electrode) which arranged substrate bias power above 600W and a substrate. Moreover, at this time, substrate bias power and up electrode power were changed with time, and it etched, changing the selection ratio of anisotropy dry etching with time amount change (it becomes small like). Although the average etch rate of a substrate 10 was a part for 0.63-micrometer/, actual etching time required 11.5 minutes. The configuration of a resist layer was carved and moved to the substrate through the above dry etching process ( drawing 1 (d)), and the micro-lens array of a cross-section configuration as shown in drawing 16 was manufactured. Moreover, lens height H after etching was  $H = 5.33$  micrometers.

[0052] (Example 2) Next, another example at the time of manufacturing the same micro-lens array for liquid crystal devices as an example 1 is shown. this example -- also setting -- 0.9" -- the micro-lens array which brought contiguity spacing close to zero infinite like drawing 16 is manufactured, using pixel size of the liquid crystal device for -XGA as  $18 \times 18$  (micrometer). In this example, what prepared the microoptics component which has an optical diffusion function in the optical incidence side of the reticle mask produced like an example 1 as a mask for exposure used at an exposure process is used. Drawing 11 shows the example and the pattern formation side of the reticle mask 37 with which mask pattern 38b by Cr film was formed on quartz substrate 38a is an example which has arranged the optical diffused-light study component 39 to the field by the side of the light source in the opposite side. As this optical diffused-light study component 39, it can form in substrate 38a before mask pattern formation directly, and a micro-lens array (pitch:5micrometer and height:1.2micrometer) (MLA) is formed in the optical incidence side of quartz substrate 38a by a resist heat displacement method etc. as an example. Subsequently, with the field in which the optical diffused-light study component 39 of substrate 38a was formed, mask pattern 38b by Cr film is formed in the field of the opposite side by the same approach as an example 1. Thereby, the reticle mask 37 equipped with the optical diffused-light study component 39 is obtained. With the reticle mask 37 of a configuration of being shown in drawing 11 , since it has the optical diffused-light study component 39 which is from a minute micro-lens array on an optical plane-of-incidence side, the level difference of light transmittance distribution of the mask pattern which could expose the mask pattern by the flux of light which has a diffusion component, and consisted of unit cells of example 1 publication is cancelable.

[0053] In addition, since the reticle mask is equipped with the optical diffused-light study component 39 in this case, it is not necessary to make it defocus, although this reticle mask is set in the stepper aligner shown in drawing 10 and the same exposure process as an example 1 is carried out. Moreover, it carried out like the example 1 except performing an exposure process using the reticle mask equipped with the optical diffused-light study component. That is, conditions, such as PEB after exposure and etching, are the same as an example 1.

[0054] (Example 3) Next, another example at the time of manufacturing the same micro-lens array for

liquid crystal devices as an example 1 is shown. this example -- also setting -- 0.9" -- the micro-lens array which brought contiguity spacing close to zero infinite like drawing 16 is manufactured, using pixel size of the liquid crystal device for -XGA as  $18 \times 18$  (micrometer). In this example, the pattern formation side of the reticle mask produced like an example 1 as a mask for exposure used at an exposure process uses what has arranged the functional film for optical diffusion which has a light transmission function for the field (field by the side of optical incidence) of the opposite side, or the pattern formation side (field by the side of optical outgoing radiation) of a reticle mask. After manufacturing the reticle mask with which drawing 12 shows the example, and is the same approach as an example 1, and the mask pattern 45 by Cr film was formed on the quartz substrate 40, The thin film formation approach given [ for example, / by these people ] in a Japanese-Patent-Application-No. No. 288430 [ 11 to ] official report is used for the pattern formation side of the reticle mask. Double main wavelength with i line, and from a substrate side, as an under coat 41, carry out the film of Ta 2O<sub>5</sub> as  $\lambda/4$  and functional film 42 for optical diffusion, and sequential formation of the equivalence film of ZrO<sub>2</sub>:0.4+MgF<sub>2</sub>:0.2+ZrO<sub>2</sub>:0.4 is carried out for the SiO film as  $\lambda/4$  and acid-resisting functional film 43. The acid-resisting functional film 44 was formed in the field (field by the side of optical incidence) of the opposite side with the pattern formation side of the quartz substrate 40. Since it has the functional film for optical diffusion of the configuration shown in drawing 12 which is prodigal and has an acid-resisting function in a pattern formation side with a chicle mask, a mask pattern can be exposed by the flux of light which has a diffusion component, and the level difference of light transmittance distribution of a mask pattern can be canceled. Moreover, in the example of drawing 12 , although the functional film for optical diffusion is formed in a pattern formation side side, even if it forms the functional film for optical diffusion in the field (field by the side of optical incidence) of the opposite side, or both fields, the same effectiveness is acquired with the pattern formation side of the quartz substrate 40.

[0055] In addition, since the reticle mask equips the pattern formation side with the functional film for optical diffusion which has an acid-resisting function in this case, it is not necessary to make it defocus, although this reticle mask is set in the stepper aligner shown in drawing 10 and the same exposure process as an example 1 is carried out. Moreover, it carried out like the example 1 except performing an exposure process using the reticle mask equipped with the functional film for optical diffusion. That is, conditions, such as PEB after exposure and etching, are the same as an example 1.

[0056] (Example 4) It aims at forming the micro lens of the diameter of macrostomia, and the amount of high sags as an optical element for optical communication in this example. By the conventional method of construction, manufacture is the example of a short focal distance micro lens with difficult high lens height, and both sides of this example are the lens configurations of a micro lens further. Hereafter, the example which manufactured the configuration of this double-sided micro lens as the shape of special surface type is described. By the conventional method of construction, when lens height was high, the photosensitive ingredient needed to be applied thickly, and patterning of this needed to be carried out. However, it was difficult for there to be problems, such as impasto of a photosensitive ingredient, patterning nature, and heat deformans, in this case, and to manufacture a short focal distance micro lens with the above high lens height. Moreover, although there is the approach of specifically making a selection ratio one or more of changing a selection ratio, in the case of etching, there is a limitation in enlarging a selection ratio.

[0057] In this example, a double-sided micro lens is manufactured by drawing 2 and the same production process as 3, using a photo-setting resin as a photosensitive ingredient. Under the present circumstances, they are 1/about [ of the diameter of a lens which makes the amount of contraction of the used photo-setting resin 6.8%, and makes movement magnitude the purpose ] dozens. Moreover, the sensibility and movement magnitude of a photo-setting resin, and the amount of contraction are the physical quantity which becomes settled for every ingredient, and are the physical-properties value of an ingredient proper. Moreover, in this example, since the height after deformation is 20-30 micrometers,



the ratio is about 1/30 and it has sufficient deformation capacity to the diameter of about 800 micrometers, the constraint from movement magnitude or the amount of contraction is not received. [0058] the lens side configuration made into the purpose by this example -- the 1st page and the 2nd page -- an aspheric surface configuration -- it is -- the aspheric surface configuration -- radius-of-curvature:R, distance:Y from an optical axis, cone constant:k, and high order constant: -- it is expressed with the following polynomial using height:X of a, b, ..., the direction of an optical axis, and the design result of the aspheric surface micro lens is as being shown in the following table 1.

$X=(Y^2/R)/[1+\sqrt{1-(k+1)(Y/R)^2}]+aY^4+bY^6$  .. [0059] Moreover, since a micro lens is a single lens configuration in the case of this example, consideration of lens spacing is unnecessary. Furthermore, thickness made it twice (about 20 micrometers) the contraction deformation (this example about 10 micrometers) of a photo-setting resin. Moreover, it carried out with the exposure method as shown in drawing 9 using the gradation mask which controlled thickness as shown in drawing 6 as a mask for exposure. The amount of alignment at this time is set to 20 micrometers from the conventional track record data, and the mask pattern was exposed in the state of defocusing. And these conditions and purpose configurations are inputted into a personal computer, and the mask pattern of two-dimensional permeability distribution is designed and manufactured from a predetermined formula. In addition, as a gradation mask which controlled thickness, this invention persons designed and manufactured the gradation mask corresponding to the configurations of the 1st page and the 2nd page of a micro lens using the approach given in JP,9-146259,A proposed previously, respectively.

[0060]

[Table 1]

項目		内容	備考
基板の厚さ		1.05mm	
基板の材質		ネオセラム	
基板の屈折率		1.541	$\lambda=500\text{nm}$
第1面	レンズの直径		699 $\mu\text{m}$
	曲率半径		2.922mm
	レンズの高さ		20.81 $\mu\text{m}$
	非球面定数	Conic	-0.999155
		4次	-0.010321
6次		0.0020539	
第2面	レンズの直径		797 $\mu\text{m}$
	曲率半径		2.657mm
	レンズの高さ		-29.82 $\mu\text{m}$
	非球面定数	Conic	-1.050663
		4次	0.0106659
6次		0.0010284	
焦点距離		2.754mm	
物体距離		2.45mm	
像面距離		100.00mm	

[0061] First, the 1st page is processed. As a photo-setting resin, at substrate temperature:20 degree C, acrylic adhesives (Dainippon Ink GRANDIC RC- 8720 (trade name)) are applied to the neo SERAMU substrate of diameter: $\phi 4''$  using a spin coater so that it may be set to thickness:20micrometer, and a resin layer is formed in the beginning. The viscosity of the acrylic adhesives in 25 degrees C is 1100CPS, and thick-film spreading of it is attained at a spin coater. Then, substrate temperature is raised to 30 degrees C on a hot plate, the viscosity of adhesives is reduced to 795CPS, and equalization of the surface waviness of non-hardening resin is attained. Subsequently, substrate temperature is lowered to 20 degrees C or less, and viscosity is reduced. The mobility of a resin layer falls by this and the handling of a substrate becomes easy.

[0062] Next, this substrate is set on a semi-conductor aligner. On the other hand, the gradation mask manufactured based on the above-mentioned design data is set to an aligner. Then, according to a predetermined activity, under amount:of alignment20micrometer conditions, the exposure flux of light

(for example, ultraviolet rays) is irradiated for 200 seconds with the illuminance of 7 mW/cm<sup>2</sup> from the tooth-back side of a gradation mask, and exposure addition quantity of light:1400 mJ/cm<sup>2</sup> is irradiated. Under the present circumstances, since the variation of a resin layer is large, a resin layer is stiffened, carrying out the long duration exposure of the exposure flux of light with a low illuminance. In the meantime, a substrate is heated in early stages of an exposure, and temperature is raised to 30 degrees C. Moreover, also in [ optical irradiation time:] 200 seconds, the substrate was heated by light and substrate temperature rose to 40 degrees C at the time of exposure termination. In the meantime, the viscosity of a resin layer falls, a resin layer is contracted with hardening, and the height becomes high. [0063] Next, substrate temperature is raised to 50 more degrees C after the above-mentioned processing. Then, the viscosity of a resin layer rises to 217CPS. If a substrate is left for 5 minutes in this condition, the resin of the part (crevice of a surface layer) which is not carrying out photo-curing gradually will flow, and a front face will carry out flattening with surface tension. Of course, it can also leave the concave configuration of the lens circumference by excluding this processing. After this process, all over a substrate front face, the parallel light of homogeneity is irradiated and resin is stiffened completely. The following results were obtained when the shape of surface type of the resin layer hardened by the above-mentioned approach was evaluated. Micro-lens diameter: They were D= 699 micrometers, height:h=20.9micrometer of resin, and height:H=30.8micrometer from a substrate to the resin top.

[0064] Next, the substrate which has the resin layer of the above-mentioned configuration is set in the vacuum tub of the TCP dry etching system for semi-conductors. Degree of vacuum : Ar:5sccm after carrying out evacuation to 3.0x10<sup>-4</sup>Toor, The mixed gas of CF<sub>4</sub>:20sccm and CHF<sub>3</sub>:5sccm was introduced in the vacuum tub, and dry etching of an anisotropy was performed under the conditions which made 1200W and substrate cooling temperature -20 degrees C for the power of the up electrode (antenna electrode) which arranged substrate bias power above 1100W and a substrate. The substrate and the resin layer of the etch rate at this time were parts for 0.85-micrometer/. Moreover, the ratio (selection ratio) of the etch rate of a substrate ingredient and a resin layer was 1. Under these conditions, etching was performed for 39 minutes. As a result of measuring the shape of surface type of the substrate after this etching, the configuration after the 1st-page processing of a substrate is as follows.

micro-lens diameter: -- D= 699-micrometer lens height: -- H= 20.9-micrometer radius-of-curvature: -- R= 2.657mm [0065] Next, the 2nd page is manufactured at the same process as the above. First, as a photo-setting resin, at substrate temperature:20 degree C, acrylic adhesives (Dainippon Ink GRANDIC RC- 8720 (trade name)) are applied using a spin coater so that it may be set to thickness:20micrometer, and a resin layer is formed in the rear-face (2nd page) side of the substrate into which the 1st page was processed. Next, this substrate is set on a semi-conductor aligner. On the other hand, the gradation mask manufactured based on the above-mentioned design data is set to an aligner. Then, according to a predetermined activity, under amount:of alignment30micrometer conditions, the exposure flux of light (for example, ultraviolet rays) is irradiated for 220 seconds with the illuminance of 7 mW/cm<sup>2</sup> from the tooth-back side of a gradation mask, a mask pattern is irradiated to exposure quantity of light:1540 mJ/cm<sup>2</sup>, and a resin layer is stiffened. In the meantime, a substrate is heated in early stages of an exposure, and temperature is raised to 30 degrees C. Moreover, also in [ optical irradiation time:] 220 seconds, the substrate was heated by light and substrate temperature rose to 40 degrees C at the time of exposure termination. In the meantime, the viscosity of a resin layer falls, a resin layer is contracted with hardening, and the height becomes high.

[0066] Next, if substrate temperature is raised to 50 more degrees C after the above-mentioned processing and a substrate is left for 5 minutes in this condition, the resin of the part (crevice of a surface layer) which is not carrying out photo-curing gradually will flow, and a front face will carry out flattening with surface tension. Of course, it can also leave the concave configuration of the lens circumference by excluding this processing. After this process, all over a substrate front face, the

parallel light of homogeneity is irradiated and resin is stiffened completely. The following results were obtained when the shape of surface type of the resin layer hardened by the above-mentioned approach was evaluated. Micro-lens diameter: They were  $D=798$  micrometers, height:  $h=29.9$  micrometer of resin, and height:  $H=40.5$  micrometer from a substrate to the resin top.

[0067] Next, the substrate which has the resin layer of the above-mentioned configuration is set in the vacuum tub of the TCP dry etching system for semi-conductors. Degree of vacuum : Ar:5sccm after carrying out evacuation to  $3.0 \times 10^{-4}$  Torr, The mixed gas of CF<sub>4</sub>:20sccm and CHF<sub>3</sub>:5sccm was introduced in the vacuum tub, and dry etching of an anisotropy was performed under the conditions which made 1200W and substrate cooling temperature  $-20$  degrees C for the power of the up electrode (antenna electrode) which arranged substrate bias power above 1100W and a substrate. The substrate and the resin layer of the etch rate at this time were parts for 0.85-micrometer/. Moreover, the ratio (selection ratio) of the etch rate of a substrate ingredient and a resin layer was 1. Under these conditions, etching was performed for 51 minutes. As a result of measuring the shape of surface type of the substrate after this etching, the configuration after the 2nd-page processing of a substrate is as follows.

micro-lens diameter: --  $D=790$ -micrometer lens height: --  $H=30.0$ -micrometer radius-of-curvature: --  $R=2.641$ mm [0068] In addition, the optical-axis doubling precision of the 1st page and the 2nd page was less than  $[\phi 0.2 \text{ micrometer}]$ . Moreover, when this micro lens was included in the module for optical communication and optical-character ability was evaluated, the following engine performance was obtained.

diameter [ by the side of an outgoing radiation side / incidence ] of optical fiber (core diameter): -- angle-of-divergence [ from 8 micrometer fiber ] (half width): -- 8 degrees (full width: 16 degrees) dummy pinhole: -- the location of a lens end face to 50mm -- diameter lens engine-performance (optical loss) desired value [ of 500 micrometer ]: -- 4dB or less lens engine-performance (optical loss) result: -- 3.81dB [0069]

[Effect of the Invention] As explained above, according to this invention, the optical element formed by the generating approach of the shape of new special surface type and its generating approach can be offered. And since smoothing of the two-dimensional light transmittance distribution of the mask for exposure can be carried out and it can carry out as [ expose / the discontinuous part of the light transmittance distribution curve in a mask / by the photosensitive ingredient layer ] in case creation of the shape of special surface type is carried out to a photosensitive ingredient layer using masks for exposure, such as a gradation mask (concentration distribution mask) or a reticle mask, a photosensitive ingredient layer can be prevented from imprinting as a discontinuity configuration (level difference) in this invention. Therefore, according to this invention, without dropping the sensibility of a photosensitive ingredient or making an ingredient change at a photosensitive ingredient with blunt sensibility, a configuration imprint can be carried out with high precision, and creation of the three-dimension configuration which changes in the height direction continuously smoothly can be carried out with high precision. Moreover, creation of the shape of special surface type of the three-dimensional structure can be carried out on a substrate by imprinting to a substrate the three-dimension configuration formed in the photosensitive ingredient layer by anisotropic etching. Therefore, according to this invention, optical elements, such as a diameter micro lens of macrostomia for optical communication and a minute pitch micro-lens array for liquid crystal devices, can be easily offered by being able to carry out creation of the shape of special surface type of the three-dimensional structure which changes in the height direction continuously smoothly easily, and making the shape of this surface type into an optical curved surface on a photosensitive ingredient layer or a substrate.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DESCRIPTION OF DRAWINGS**

---

**[Brief Description of the Drawings]**

**[Drawing 1]** It is the process explanatory view showing 1 operation gestalt of the generating approach of the shape of special surface type concerning this invention.

**[Drawing 2]** It is the process explanatory view showing another operation gestalt of the generating approach of the shape of special surface type concerning this invention.

**[Drawing 3]** It is a process explanatory view at the time of imprinting to a substrate the shape of surface type of the resin layer manufactured at the process shown in drawing 2 .

**[Drawing 4]** It is drawing for explaining correspondence with the optical intensity distribution of the exposure light in an exposure process, and the shape of surface type which are formed.

**[Drawing 5]** It is drawing for explaining an example of the mask for exposure concerning this invention.

**[Drawing 6]** It is drawing for explaining another example of the mask for exposure concerning this invention.

**[Drawing 7]** It is drawing showing the example of 1 configuration of the laser light irradiation device used in case the gradation mask concerning this invention is manufactured.

**[Drawing 8]** It is drawing showing the example of 1 configuration of the aligner used at the time of special surface type-like patterning.

**[Drawing 9]** It is drawing showing an example of the exposure method used at the time of special surface type-like patterning.

**[Drawing 10]** It is drawing showing another example of a configuration of the aligner used at the time of special surface type-like patterning.

**[Drawing 11]** It is drawing showing one example of this invention, and is the important section sectional view of the mask for exposure in which the optical diffused-light study component was prepared.

**[Drawing 12]** It is drawing showing another example of this invention, and is the important section sectional view of the mask for exposure in which the functional film for optical diffusion was prepared.

**[Drawing 13]** In an etching process, it is drawing for explaining forming the shape of different surface type from a start configuration in a substrate by changing a selection ratio in time.

**[Drawing 14]** It is drawing showing an example of the mask pattern of the reticle mask used in the 1st example.

**[Drawing 15]** It is the important section sectional view showing an example of the liquid crystal device for liquid crystal projectors.

**[Drawing 16]** It is the important section sectional view showing an example of the micro-lens array substrate used for the liquid crystal device shown in drawing 5 .

**[Drawing 17]** It is drawing for explaining the pixel of a liquid crystal device, and the relation of a micro-lens formation field.

**[Description of Notations]**

1 Laser Light Sender

2 Beam Splitter

3 Mirror

4 Optical Modulator and Its Control Unit

5 Data Path  
6 Optical Deflector and Its Control Unit  
7 Objective Lens  
8 X-Y Stage  
9 Optical Interferometer  
10 Substrate  
11 Photosensitive Ingredient Layer (Photoresist Layer)  
13 Optical Element  
14 Substrate  
15 Photosensitive Ingredient Layer (Photo-setting Resin Layer)  
17 Gradation Mask (Concentration Distribution Mask)  
18 Gradation Mask (Concentration Distribution Mask)  
21 Light Source  
22 Collimate Lens  
23 Mirror  
24 Beam Expander  
25 Gradation Mask  
26 Substrate  
27 Photosensitive Ingredient Layer  
28 Gradation Mask  
29 Substrate  
30 Light Source Lamp  
31 Condenser Lens  
32 Reticle Mask  
33 Image Formation Lens  
34 X-Y Stage  
37 Gradation Mask  
38a Quartz substrate  
38b Mask pattern (Cr film)  
39 Optical Diffused-Light Study Component  
40 Quartz Substrate  
41 Under Coat  
42 Functional Film for Optical Diffusion  
43 Acid-Resisting Functional Film  
44 Acid-Resisting Functional Film  
45 Mask Pattern (Cr Film)  
46 Mask Pattern  
201 TFT Substrate  
202 Micro-Lens Array Substrate  
203 Flat-Surface Substrate  
205 Liquid Crystal  
302 Micro Lens

---

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-255660  
(P2001-255660A)

(43) 公開日 平成13年9月21日 (2001.9.21)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	チーマコード <sup>*</sup> (参考)
G 0 3 F 7/20	5 0 1	G 0 3 F 7/20	5 0 1 2 H 0 8 7
G 0 2 B 3/00		G 0 2 B 3/00	A 2 H 0 9 6
13/18		13/18	2 H 0 9 7
G 0 3 F 7/40	5 2 1	G 0 3 F 7/40	5 2 1 9 A 0 0 1

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2000-67262(P2000-67262)

(22) 出願日 平成12年3月10日 (2000.3.10)

(71) 出願人 000115728

リコー光学株式会社

岩手県花巻市大畑第十地割109番地

(72) 発明者 梅木 和博

岩手県花巻市大畑第十地割109番地・リコー光学株式会社内

(74) 代理人 100067873

弁理士 樺山 亨 (外1名)

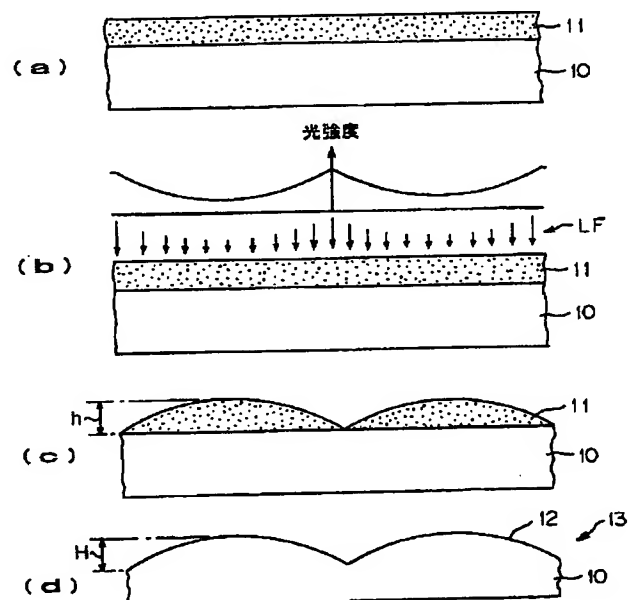
最終頁に続く

## (54) 【発明の名称】 特殊表面形状の創成方法及び光学素子

## (57) 【要約】

【課題】感光性材料層あるいは基板上に、高さ方向に滑らかに連続的に変化する3次元構造の特殊表面形状を容易に創成することができる新規な創成方法を実現する。

【解決手段】所望の3次元構造の特殊表面形状を形成すべき基板材料10の表面上に所定の厚さに感光性材料を塗布して感光性材料層11を形成し、上記特殊表面形状に対応して光透過率が段階的に変化する露光用マスクを用いて感光性材料層11に所定の光透過率分布のマスクパターンLFを露光し、目的とする特殊表面形状に応じて感光性材料層11の厚さを変化せしめる特殊表面形状の創成方法において、感光性材料層11へ露光用マスクのパターンLFを露光する際に、デフォーカスして露光パターンを僅かに焦点ボケさせ、上記マスクパターンの光透過率分布の段差を解消する。





(2)

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 所望の3次元構造の特殊表面形状に対応して光透過率が段階的に変化する露光用マスクを用いて基板上の感光性材料層にパターンを露光する際に、露光パターンを焦点ずらしさせ、光透過率分布の段差を解消することを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項2】 所望の3次元構造の特殊表面形状に対応して光透過率が段階的に変化する露光用マスクを用いて基板上の感光性材料層にパターンを露光する際に、拡散光でマスクパターンを露光することで、光透過率分布の段差を解消することを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項3】 所望の3次元構造の特殊表面形状を形成すべき基板材料の表面上に所定の厚さに感光性材料を塗布して感光性材料層を形成し、上記特殊表面形状に対応して光透過率が段階的に変化する露光用マスクを用いて上記感光性材料層に所定の光透過率分布のマスクパターンを露光し、目的とする特殊表面形状に応じて上記感光性材料層の厚さを変化せしめる特殊表面形状の創成方法において、

上記感光性材料層へ上記露光用マスクのパターンを露光する際に、デフォーカスして露光パターンを僅かに焦点ボケさせ、上記マスクパターンの光透過率分布の段差を解消することを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項4】 所望の3次元構造の特殊表面形状を形成すべき基板材料の表面上に所定の厚さに感光性材料を塗布して感光性材料層を形成し、上記特殊表面形状に対応して光透過率が段階的に変化する露光用マスクを用いて上記感光性材料層に所定の光透過率分布のマスクパターンを露光し、目的とする特殊表面形状に応じて上記感光性材料層の厚さを変化せしめる特殊表面形状の創成方法において、

上記感光性材料層へ上記露光用マスクのパターンを露光する際に、上記露光用マスクのパターン形成面とは反対側で光源側の面に光拡散光学素子を配置し、拡散光でマスクパターンを露光することにより上記マスクパターンの光透過率分布の段差を解消することを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項5】 請求項2記載の特殊表面形状の創成方法において、

拡散光発生方法として露光用マスクのパターン形成面の反対面に光透過機能を有する光拡散用機能膜を配置し、光透過率分布の段差を解消することを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項6】 請求項2記載の特殊表面形状の創成方法において、

拡散光発生方法として露光用マスクのパターン形成面に光透過機能を有する光拡散用機能膜を配置し、光透過率分布の段差を解消することを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

2

【請求項7】 請求項2記載の特殊表面形状の創成方法において、

拡散光発生方法として露光用マスクの両面に光透過機能を有する光拡散用機能膜を配置し、光透過率分布の段差を解消することを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項8】 請求項1～7の何れか一つに記載の特殊表面形状の創成方法において、

上記露光用マスクとして、特殊表面形状に対応して光透過率が段階的に変化するマスクパターンを有する濃度分布マスク（グラデーションマスク）、もしくは上記濃度分布マスクを所定の拡大率で拡大したレチクルマスクを用いることを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項9】 請求項1～8の何れか一つに記載の特殊表面形状の創成方法において、

上記感光性材料として、フォトレジストあるいは光硬化性樹脂を用いることを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項10】 請求項9記載の特殊表面形状の創成方法において、

感光性材料としてフォトレジストを用いる場合には、基板材料の表面に塗布したフォトレジスト層に、濃度分布マスクあるいはレチクルマスクにより所定の3次元的な光強度分布を有するマスクパターンを露光した後、現像、リンス、あるいは、ポスト・エキスポージャー・ベーク、レジスト硬化処理などの工程を経てフォトレジスト層を所望の3次元構造にパターンニングすることを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項11】 請求項9記載の特殊表面形状の創成方法において、

感光性材料として光硬化性樹脂を用いる場合には、基板材料の表面に液状の光硬化性樹脂を塗布した後、光硬化性樹脂層が流動性を有する状態で上記濃度分布マスクあるいはレチクルマスクにより所定の3次元的な光強度分布を有するマスクパターンを露光し、露光の照射時間や露光量、加熱による流動性の制御などにより光硬化性樹脂層を表面側から徐々に硬化させ、硬化に伴う光硬化性樹脂の体積減少と流動により上記樹脂層の表面を変形せしめて、所望の3次元構造にパターンニングすることを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項12】 請求項1～11の何れか一つに記載の特殊表面形状の創成方法において、

目的とする特殊表面形状に応じて上記感光性材料層の厚さを変化せしめた後、上記感光性材料層と基板に対し異方性エッチングを行って、上記感光性材料層の表面形状を基板表面に彫り移して転写することを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項13】 請求項1～12の何れか一つに記載の特殊表面形状の創成方法を用いて、感光性材料層もしくは基板材料表面に光学的曲面を形成したことを特徴とする光学素子。

(3)

3

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は3次元構造を有する特殊表面形状の創成方法及び光学素子に関する。

【0002】

【従来の技術】光学素子の屈折面や反射面に、球面や非球面等に代表される特殊な面形状が使用されるようになってきており、また近來は液晶表示素子や液晶プロジェクタ、あるいは光通信等に関連して、マイクロレンズやマイクロレンズアレイ等にも特殊な面形状が求められている。そこで球面や非球面等の特殊な表面形状を型成形や研磨によらずに創成する方法として、ガラスや金属、樹脂等の基板の表面に曲面等の3次元構造を有する特殊表面形状を創成する方法が提案されている。その一例としては、所望の3次元構造の特殊表面形状を形成すべき基板材料の表面上に所定の厚さに感光性材料（フォトレジスト等）を塗布して材料層を形成し、上記特殊表面形状に対応して光透過率が段階的に変化する露光用マスクを用いて上記感光性材料層に所定の光透過率分布（光強度分布）のマスクパターンを露光し、目的とする特殊表面形状に応じて上記感光性材料層の厚さを変化せしめて3次元構造の表面形状を形成する方法が知られている

（例えば、本発明者らが先に提案した、特開平7-230159号公報や特開平9-146259号公報に記載のグラデーションマスクとその製造方法およびグラデーションマスクを用いた特殊表面形状の創成方法）。この方法はマイクロレンズ等の曲面形成方法として大変優れており、感光性材料層の表面形状として所望の曲面形状を、露光用マスクとしてグラデーションマスク（濃度分布マスク）を用いたマスクパターンの露光で極めて精度良く形成でき、また、この曲面形状を異方性エッチングにより基板の表面形状として精度良く転写することができるため、所望の曲面形状を精度良く形成できる。

【0003】しかし、グラデーションマスクを用いた特殊表面形状の創成方法は、マイクロレンズ等の光学素子の曲面形成方法として優れた点を多く有しているが、その反面、特殊表面形状に対応して光透過率が段階的に変化するグラデーションマスク（例えば、特開平9-146259号公報記載のグラデーションマスク）を用いて感光性材料層にマスクパターンを露光し、目的とする特殊表面形状に応じて感光性材料層の厚さを変化せしめる際に、マスク内の光透過率分布曲線の不連続部分が感光性材料層に露光される際にも不連続形状として露光されるため、感光性材料層の表面にも不連続形状（段差）が転写されるという問題がある。そこで上記問題点を解決する方法として、感度の鈍い感光性材料を使用するか、光吸収材料を多めに添加するなどの方法が必要であった。また、露光用マスクを用いてパターンニングする技術は半導体分野においてよく用いられているが、半導体分野においては、2次元的にラインパターンの有無を配置

4

することが目的であるため、高さ方向に変化する3次元形状を高精度に制御することは行われていなかった。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記事情に鑑みなされたものであり、新規な特殊表面形状の創成方法及びその創成方法により形成した光学素子を提供することを目的とする。そして本発明では、グラデーションマスク（濃度分布マスク）等の露光用マスクを用いて特殊表面形状を創成する際の従来の問題を解決するため、

- ①マスク内の光透過率分布曲線の不連続部分が感光性材料層に露光される際に、感光性材料層に不連続形状（段差）として転写されないようにすること、
- ②光透過率分布曲線を形成する単位セル内の光透過量、すなわち、露光用マスク上では2次元的な光透過率分布をスムージングすること、
- ③濃度分布マスク等の露光用マスクの光透過率は、単位セル毎に微視的に観察すると白黒の配置であり、このまま露光すると感光性材料層の高さも（高、低）の白黒濃度情報になってしまうので、これを防止すること、
- ④感光性材料の感度を落としたり、感度の鈍い感光性材料に材料変更したりすることなしに、高精度に形状転写する方法を提案すること、
- ⑤高さ方向に滑らかに連続的に変化する三次元形状を高精度に制御すること、
- ⑥高さ方向に滑らかに連続的に変化する特殊表面形状を有する光学素子を提供すること、を課題としている。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明は、所望の3次元構造の特殊表面形状を形成すべき基板材料の表面上に所定の厚さに感光性材料を塗布して感光性材料層を形成し、上記特殊表面形状に対応して光透過率が段階的に変化する露光用マスクを用いて上記感光性材料層に所定の光透過率分布（光強度分布）のマスクパターンを露光し、目的とする特殊表面形状に応じて上記感光性材料層の厚さを変化せしめる特殊表面形状の創成方法と、その特殊表面形状の創成方法により製造される光学素子に関するものである。

【0006】本発明に係る特殊表面形状の創成方法では、上記のように、所望の3次元構造の特殊表面形状を形成すべき基板材料の表面上に所定の厚さに感光性材料を塗布して感光性材料層を形成し目的の特殊表面形状に対応して予め別途の方法で設計された透過率が段階的に変化する露光用マスクを用い、感光性材料層にマスクパターンを露光する。ここで露光されるパターンは、上記露光用マスクによって形成される3次元パターンである。上記露光用マスクは、基板材料表面に塗布された感光性材料の「感度曲線」と、露光用マスクを構成する各単位セルの「光エネルギー量」の関係から、実験的に求められる関数で与えられるものである。ここで、実験的に求められるとは、プロセス条件によって感光性材料の

(4)

5

「感度特性」及び「光透過量」が異なることを意味する。すなわち、プロセス条件パラメータを変更すると与えられる関数も異なることを意味する。感光性材料の「感度曲線」は、感光性材料への光照射エネルギーと材料の感光性成分の関係で基本的には決定されるものである。但し、パターンニング時のフォトリソグラフィ条件、露光条件、現像条件、あるいはベーク条件等によっても変更される曲線（すなわち関数）である。また、光透過量は、感光性材料中に含まれる分子構造によって光の吸収係数が異なるため、感光性材料中を光が進行する際には、深さに応じて光エネルギー（光量）が減少する。つまり、感光性材料の厚さ（深さ）と照射光エネルギー量は反比例の関係にある。従って、露光用マスクの「光透過率」と感光性材料の「感度」（光吸収率）を実験データから組み合わせると、感光性材料の厚さ方向に分布を有する光エネルギー分布を形成することが可能となる。

【0007】上記方法によって、本発明は、半導体プロセスのように、ある高さ（厚さ）の感光性材料を2次元のラインパターンとして形成するのが目的ではなく、3次元構造の特殊表面形状、すなわち高さ方向にも制御されたパターン性を有する構造物を形成することを目的としている。そして、上記方法によって感光性材料層の厚さを変化せしめる3次元構造の特殊表面形状の創成方法において、感光性材料層へのマスクパターンの露光時に、ステッパー露光やアライメント露光等によりマスクパターンをそのまま露光すると、露光用マスクの単位セルの白黒濃度情報をそのまま感光性材料層に転写することとなり、ステッパー露光装置等の性能が高いほど、半導体のパターンニング時のようにライン・アンド・スペースの2次元配列となる。

【0008】そこで本発明では、露光時のパターンの3次元方向の光エネルギー分布製作方法として、フォーカスを意図的にデフォーカスする方法を採用している。すなわち、基板上の感光性材料層へ露光用マスクのパターンを露光する際に、デフォーカス（焦点ずらし）して露光パターンを僅かに焦点ボケさせ、マスクパターンの光透過率分布の段差を解消する（請求項1, 3）。

【0009】また、別の方法として、本発明では、光透過率が段階的に変化する露光用マスクを用いて基板上の感光性材料層にパターンを露光する際に、拡散光でマスクパターンを露光することで、光透過率分布の段差を解消する（請求項2）。拡散光でマスクパターンを露光する方式の一例としては、露光時に用いる露光用マスクのパターン形成面とは反対側で光源側の面すなわち露光の光入射側に、露光光を拡散させ露光用マスクの単位セルに入射する光成分に斜め入射成分を付加する光学素子を配置する方法がある。より具体的には、感光性材料層へ露光用マスクのパターンを露光する際に、露光用マスクのパターン形成面とは反対側で光源側の面に光拡散光学

6

素子を配置し、拡散光でマスクパターンを露光することによりマスクパターンの光透過率分布の段差を解消する（請求項4）。ここで、露光用マスクに入射する光成分の斜め入射成分は、光拡散光学素子（デフューザー）の光学設計によって変化させることが可能であり、目的の斜め入射成分、すなわち拡散角度は、デフューザーの規則的特性（微細構造のピッチ、高さ、パターン幅、材料の屈折率等）を変化させることで、極めて再現性良く管理することができる。また、デフューザーを通過した拡散成分を有する光は、露光用マスク内を通過し、パターン面に到達する際、斜め入射成分の光は単位セルのパターン境界でそれぞれ回折し、感光性材料に到達する。従って、露光用マスクのデジタル的なパターンの段差を解消することができる。

【0010】さらに別の方法として、本発明では、基板上の感光性材料層へ露光用マスクのパターンを露光する際に、拡散光発生方法として上記露光用マスクのパターン形成面とは反対側の面に、光透過機能を有する光拡散用機能膜を配置し、拡散光でマスクパターンを露光することにより上記マスクパターンの光透過率分布の段差を解消する（請求項5）。より具体的には、本出願人による「プラズマ蒸着法による複屈折膜の製造方法（特願平3-294346号、特願平3-297400号）」等により、露光用マスクのパターン形成面とは反対側の面に光拡散用機能膜を形成する。この光拡散用機能膜は、光透過機能を有すると同時に光拡散機能を有するように少なくとも3層以上の薄膜構成となっており、マスク基板に入射する光を効率良く透過し、且つまた膜厚と成膜物質を変更することによって光拡散性能（複屈折量）を変化させることができる。従って、光拡散用機能膜を通過した拡散成分を有する光は、露光用マスク内を通過し、パターン面に到達する際、拡散成分の光は単位セルのパターン境界でそれぞれ回折し、感光性材料に到達する。従って、露光用マスクのデジタル的なパターンの段差を解消することができる。

【0011】さらにまた別の方法として、本発明では、感光性材料層へ露光用マスクのパターンを露光する際に、拡散光発生方法として上記露光用マスクのパターン形成面に、光透過機能を有する薄い光拡散用機能膜を配置し、拡散光でマスクパターンを露光することにより上記マスクパターンの光透過率分布の段差を解消する（請求項6）。より具体的には、本出願人による「プラズマ蒸着法による複屈折膜の製造方法（特願平3-294346号、特願平3-297400号）」等により、露光用マスクのパターン形成面に光拡散用機能膜を形成する。この光拡散用機能膜は、光透過機能を有すると同時に光拡散機能を有するように少なくとも3層以上の薄膜構成となっており、マスク基板のパターン面を透過した光を効率良く透過し、且つまた膜厚と成膜物質を変更することによって光拡散性能（複屈折量）を変化させるこ

(5)

7

とができる。従って、露光用マスクのパターン面を通過した光は、光拡散用機能膜を透過して拡散成分を有する光として感光性材料に到達するので、露光用マスクのパターンの段差を解消することができる。また、この場合、光拡散用機能膜は露光用マスクのパターン形成面に形成してあるので、請求項 5 に比較して薄い薄膜で同様の機能を実現するものである。尚、上記の請求項 5 や請求項 6 の方法では、拡散光発生方法として露光用マスクの一方側の面に光拡散用機能膜を配置しているが、露光用マスクの両面に光透過機能を有する光拡散用機能膜を配置してもよい（請求項 7）。

【0012】本発明の特殊表面形状の創成方法においては、露光用マスクとして、特殊表面形状に対応して光透過率が段階的に変化するマスクパターンを有する濃度分布マスク（グラデーションマスク）、もしくは上記濃度分布マスクを所定の拡大率で拡大したレチクルマスクを用いることができる（請求項 8）。ここで、濃度分布マスク（グラデーションマスク）としては、①「透明基板上に金属及び／または金属酸化物の膜を形成し、この膜を複数の単位セルに分割して各単位セル内の開口（光透過領域）の面積を制御し、個々の単位セルの光透過領域の面積が、目的とする特殊表面形状に対応して所定の光透過率分布をなすように設定されたもの」や、②「透明基板上に膜厚が段階的に変化する膜を金属及び／または金属酸化物で形成して成り、この膜の膜厚を単位セル毎に制御して全体及び個々の単位セルの膜厚の変化が、目的とする特殊表面形状に対応して所定の光透過率分布をなすように設定されたもの」、③「各単位セルの光透過量を制御する方法として、所望の形状に対応する全体的な光透過光量分布を持たせるために、例えば、本発明者らによる特開平 7-230159 号公報に示した光露光方式によって、各単位セルを透過する光の「光透過面積」と「光透過率（ $C_r$  膜厚）」の総合的な組み合わせによってグラデーションマスクを適宜製作することができるようにしたもの」等があり、例えば、②のタイプとしては、本発明者らによる特開平 9-146259 号公報に記載されたグラデーションマスク等を適宜変更して利用することができる。また、この濃度分布マスクは、例えば所望の表面形状に対して等倍で作製され、アライメント露光法あるいは等倍のステッパ露光法等により感光性材料層に対して等倍のマスクパターンが露光されるが、所望の表面形状に対して所定の拡大率で設計され、上記①、②、③の何れかの方式で作製された拡大濃度分布マスク（レチクルマスク）を用いる場合には、縮小露光式のステッパ露光装置でレチクルマスクのマスクパターンを感光性材料層に縮小露光するステッパ露光法を採用することができる。

【0013】さらに本発明の特殊表面形状の創成方法においては、上記感光性材料として、フォトレジストあるいは光硬化性樹脂を用いることができる（請求項 9）。

8

ここで、感光性材料としてフォトレジストを用いる場合には、基板材料の表面に塗布したフォトレジスト層に、上記濃度分布マスクあるいはレチクルマスクにより所定の 3 次元的な光強度分布を有するマスクパターンを露光した後、現像、リンス、あるいは、ポスト・エクスポージャー・バーク、レジスト硬化処理などの工程を経てフォトレジスト層を所望の 3 次元構造にパターンニングする（請求項 10）。また、感光性材料として、光硬化性樹脂（可視光または紫外光あるいは赤外光の照射により硬化する樹脂）を用いる場合には、基板材料の表面に液状の光硬化性樹脂を塗布し、光硬化性樹脂層が流動性を有する状態で上記濃度分布マスクあるいはレチクルマスクにより所定の 3 次元的な光強度分布を有するマスクパターンを露光し、露光の照射時間や露光量、加熱による流動性の制御などにより光硬化性樹脂層を表面側から徐々に硬化させ、硬化に伴う光硬化性樹脂の体積減少と流動により上記樹脂層の表面を変形せしめて、所望の 3 次元構造にパターンニングする（請求項 11）。

【0014】さらに本発明においては、請求項 1～8 のうちの何れか一つに記載の特殊表面形状の創成方法により、目的とする特殊表面形状に応じて上記感光性材料層の厚さを変化せしめた後、上記感光性材料層と基板に対し異方性エッチングを行って、上記感光性材料層の表面形状を基板表面に彫り移して転写することができる（請求項 12）。また、上記異方性エッチングを行う際に、選択比（基板の侵蝕速度／感光性材料層の侵蝕速度）を 1 以外の値に設定することにより、出発形状の持つ凹凸形状の高低差を拡大したり縮小して基板に転写することもできるし、選択比を時間的に変化させ、選択比の時間的な変化を制御することにより、出発形状を所望の形状に変形して転写することもできる。そして、このような方法を利用すると、例えば、非球面等を容易に形成することができる。また、型成形や研磨による方法とは異なり、極めて小さい曲面の形成も可能であるため、マイクロレンズを初めとするマイクロ光学素子の屈折面形状や反射面形状の形成方法として適している。

【0015】本発明の光学素子は、上述した特殊表面形状の創成方法を用いて、感光性材料層もしくは基板材料表面に光学的曲面を形成することにより得られる（請求項 13）。この際、上記光学的曲面を、球面または非球面あるいは円錐形状のような連続面で構成することができる。また、上記光学的曲面を、フレネル形状のように連続面と不連続面から構成することもできる。さらに、上記光学的曲面を光透過性の屈折面とすることにより、レンズやプリズム等の光学素子として機能することができ、マイクロレンズ、マイクロレンズアレイ（MLA）、プリズム、プリズムアレイ、フレネルレンズ等の種々の透過型光学素子が得られる。また、上記光学的曲面に反射膜を蒸着等の方法で形成して反射面とすることにより、反射型光学素子が得られる。

(6)

9

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面を参照して詳細に説明する。図1は本発明に係る特殊表面形状の創成方法の一実施形態を示す工程説明図である。図1(a)において、符号10はガラスや金属、樹脂等で構成される基板であり、この基板の表面には感光性材料が塗布されて感光性材料層11が形成されている。ここでは感光性材料の一例としてフォトレジストを用いた場合について説明する。このフォトレジスト11は基板10に塗布された後、ベーキングされてレジスト層となる。尚、図1の例で用いられるフォトレジストはポジ型のものである。

【0017】次に図1(b)に示すように基板10上に形成されたフォトレジスト層11に対して、露光用マスクを用いて所定の方法で図示のような3次元的光強度分布を持ったマスクパターンの光束LFを露光する。この露光用マスクとしては、例えば所望の表面形状に対応して光透過率が段階的に変化するマスクパターンを有する濃度分布マスク（グラデーションマスク）、もしくは上記濃度分布マスクを所定の拡大率で拡大したレチクルマスクが用いられ、露光方法としては、所望の表面形状に対して等倍に作製された濃度分布マスクを用いてフォトレジスト層にステッパー露光する方法や、このマスクをフォトレジスト層に密着あるいは近接させて露光するアライメント露光法、あるいは所望の表面形状に対して所定の拡大率で作製されたレチクルマスクを用いて、ステッパー露光装置でマスクパターンをフォトレジスト層に縮小露光するステッパー露光法等がある。尚、濃度分布マスクや露光方法の詳細については後述する。

【0018】上記のマスクパターンの露光後、フォトレジスト層11を現像、リンス後にポスト・エキスポージャー・ベーク（PEB）処理して、所望の表面形状に応じてフォトレジスト層11を3次元的にパターンニングする。このパターンニング工程が完了すると、図1(c)に示すように、レジスト層11により、露光時の光強度分布に対応した表面形状（露光量の少ない部分ほどレジスト層の層厚が厚い形状）が形成される。次に、エッチング工程を行い、所望のレジスト表面形状を形成されたレジスト層11と基板10に対して所定の選択比の異方性ドライエッチングを行って、レジスト層11の表面形状を基板10の表面形状として彫り移して転写することにより、図1(d)に示すような3次元構造の表面形状が基板表面に形成される。尚、このエッチング工程においては、上記異方性エッチングの選択比を1より大きく

（すなわち、基板10の侵刻速度をレジスト層11の侵刻速度より大きく）設定した場合には、レジスト層11における表面形状の高低差： $h$ に対して、上記表面形状を転写された基板10の表面形状の高低差： $H$ が大きく（ $H > h$ ）なり、選択比を1とすれば $H = h$ となり、選択比を1より小さく設定すれば $H < h$ となる。

10

【0019】ここで図1の例は、基板表面に球面または非球面からなる凸の曲面形状12を形成した例であり、基板10として透明なガラス基板や樹脂基板からなる光学基板を用いて上記曲面を屈折面とすることによりマイクロレンズ等の光学素子13として利用することができ、この曲面形状を複数個、1次元あるいは2次元のアレイ配列に形成することによりマイクロレンズアレイを形成することができる。また、上記曲面形状の上に蒸着やスパッタリング等により反射膜を形成すれば反射型光学素子が得られる。

【0020】次に図2は本発明に係る特殊表面形状の創成方法の別の実施形態を示す工程説明図である。図2

(a)において、符号14はガラスや金属、樹脂等で構成される基板であり、この基板の表面には感光性材料が塗布されて感光性材料層15が形成されている。ここでは感光性材料の一例として、硬化に伴い体積の減少する光硬化性樹脂（可視光または紫外光あるいは赤外光の照射により硬化する樹脂）を用いた場合について説明する。この光硬化性樹脂の基板14への塗布は、ロールコート法やスピンコート法、あるいはディッピング法により行うことができるが、形成された樹脂層の表面がうねり等の無い平面となるように、光硬化性樹脂による樹脂層15の塗布形成後、該樹脂層15における樹脂の流動性を高めて樹脂層15の表面を平滑化することが望ましい。

【0021】次に図2(a)に示すように基板14上に形成された樹脂層15に対して、露光用マスクを用いて所定の方法で図示のような3次元的光強度分布を持ったマスクパターンの光束LFを露光する。この露光用マスクとしては、例えば所望の表面形状に対応して光透過率が段階的に変化するマスクパターンを有する濃度分布マスク（グラデーションマスク）、もしくは上記濃度分布マスクを所定の拡大率で拡大したレチクルマスクが用いられ、露光方法としては、所望の表面形状に対して等倍に作製された濃度分布マスクを用いて樹脂層にステッパー露光する方法や、このマスクを樹脂層に密着あるいは近接させて露光するアライメント露光法、あるいは所望の表面形状に対して所定の拡大率で作製されたレチクルマスクを用いて、ステッパー露光装置でマスクパターンを樹脂層に縮小露光するステッパー露光法等がある。尚、濃度分布マスクや露光方法の詳細については後述する。また、露光用光源としては、光硬化性樹脂の種類及び露光法により適宜選択されるものであり、紫外線ランプ、ハロゲンランプ、赤外線ランプ等の各種ランプ類や、紫外域～赤外域の各種レーザー光源等があり、例えば光硬化性樹脂が紫外線硬化樹脂であれば、光源として水銀灯やメタルハライドランプ等の紫外線ランプ類、あるいは紫外域のレーザー光源等の紫外線光源が用いられる。

【0022】図2(b)は、露光工程開始後の比較的早



(7)

11

い時期における状態を描いている。樹脂層15は所定の光強度分布の光束LFの照射を受けると表面の側から硬化が開始する。図2(b)において、符号15aは硬化した樹脂部分を示しており、照射光束LFの光強度分布において、強度の大きい部分ほど硬化が進むので、硬化した樹脂部分15aの形状は図示の如きものとなる。樹脂層15を構成する光硬化性樹脂は硬化に伴い体積が減少する。すなわち、樹脂層15を構成する樹脂は硬化と共に収縮する。図2(b)において符号15bで示す部分(ハッチングを施した部分)は、図2(a)の状態から樹脂層表面側の樹脂部分15aが硬化したことに伴い減少した体積部分を示している。

【0023】露光工程が行われるとき、樹脂層15を構成する樹脂は流動状態にあるので、上記のように収縮による体積減少が生じると、未硬化の流動状態にある樹脂部分15cには上記体積減少を補償するように流動が生じる(図中の矢印は、この流動の様子を説明図として示している)。さらに時間が経過すると、樹脂層中の硬化した樹脂部分15aは硬化により成長して、図2(c)に示す如き形状となる。符号15bは上記と同様に硬化に伴い減少した体積部分を示し、図中の矢印は、減少した体積部分15bを補償しようとする未硬化の樹脂部分15cの流動状態を示している。ここで、照射光束LFの光強度の強い部分では硬化の進行が速く、硬化に伴う体積の減少も大きいので、周囲からの樹脂の流入量も大きい。このため、光強度の大きい光束が照射された部分では、周囲から樹脂の流入が常時行われてるのに対し、周囲の光強度が相対的に弱い光束が照射された部分では、樹脂が高光強度部分へ流出することにより、樹脂層表面は相対的に低下する。

【0024】このようにして、露光が継続的に行われ、樹脂層15を構成する樹脂が完全に硬化すると、図2

(d)に示すように、硬化した樹脂層15Aは、露光工程で用いられたマスクパターンの露光光束LFの光強度分布に応じた凸の曲面形状となる。そこで、硬化状態で透明な光硬化性樹脂を用いれば、このような凸の曲面は、例えば凸レンズ面(凸の屈折面)として利用することができる。また、露光工程における露光用マスクの光強度の分布が、例えば、図4(a-1)のようなものであると、この光強度分布に応じて、硬化した樹脂層15Bの形状を、図4(a-2)に示すようなものにする事ができるし、光強度の分布が、図4(b-1)の如きものであると、この光強度分布に応じて、硬化した樹脂層15Cの形状を、図4(b-2)に示す如きものにする事ができる。すなわち、硬化した樹脂層の表面形状としては、露光用マスクのパターン設計により凸面や凹面等の種々の形態が可能である。また3次元的に見た場合、軸対称の形状や凸や凹の円筒形状や互いに直交する方向で曲率の異なる面等が形成可能である。

【0025】図2(d)において、基板14上で硬化に

12

より表面を曲面化された光硬化性樹脂層は、そのまま凸レンズ面等として使用可能であるが、樹脂層15Aの表面形状を異方性エッチングにより基板14に転写することができる。図3(a)は、基板14上に図2に示した工程により表面を曲面化された光硬化性樹脂の層15Aを形成した状態を示している。この図3(a)の状態から、硬化した樹脂層15Aと基板14に対して所定の選択比の異方性エッチングを行い、図3(b)に示すように、樹脂層15Aの表面形状を基板14に転写することができる。また、エッチングの際に選択比を調整することにより、基板14に転写される曲面形状16における高低差:hを、樹脂層15A表面の曲面形状の高低差:Hに対して、拡大することも縮小することも可能である。

【0026】次に、図1や図2に示した製造工程の中の露光工程で用いられる濃度分布マスク(グラデーションマスク)とその製作方法及びそのグラデーションマスクを用いた露光方法の一例について説明する。図5は、グラデーションマスクの一例を説明するための図であり、グラデーションマスク17の一部を拡大して示す平面図である。このグラデーションマスク17は、平行平板ガラス等の透明基板にクロム(Cr)等の金属や金属化合物等からなる遮光膜を蒸着等により形成し、この遮光膜をパターニングして微小な光透過部を配列してなり、個々の光透過部の面積が所定の光透過率分布をなすように設定されたものである。図5においては、説明を簡素化し理解しやすくするために、破線で仕切られた部分は、例えば1辺が数 $\mu\text{m}$ 程度の大きさの正方形領域の場合を示している。言うまでもないが、正方形である必要はない。この正方形領域を単位セルとして、各単位セル内に一例として矩形形状の微小な光透過部APが形成されている。ここでも言うまでもないが、上記光透過部は矩形形状である必要はなく、円形状を含めた多角形状で形成させることができる。この光透過部APを透過する光量は光透過部APの面積に比例するので、例えば図のように、矩形形状の光透過部APの面積を2次元的に変化させて単位セルを配列することにより、透過光量が段階的に変化する2次元的な透過率分布を形成することができる。

【0027】ここで、一例として図1に示したような製造工程で液晶用マイクロレンズアレイ等の所望の3次元構造の特殊表面形状を形成する場合に、その特殊表面形状を形成すべき基板材料表面上に塗布される感光性材料としては、例えば市販のフォトレジスト材料(東京応化(株)製TGMPR-950(商品名))等が用いられる。まず、レジスト材料の光照射量とレジスト除去量の関係を把握し、感度曲線を求める。次いで、所望の3次元構造の表面形状に対応して、モデルとなるグラデーションマスクを設計し製作する。このグラデーションマスクは、図5に示す一例のように正方形に分割された単位



(8)

13

セルで構成され、各単位セル内の光透過領域が、所望の表面形状に応じた透過率分布となるように2次元的に設計され、各単位セル内の光透過量が制御されたものである。

【0028】ここで、グラデーションマスクを構成する単位セルの光透過率の制御方法としては、石英ガラス等の透明基板にCr膜を遮光膜として形成した場合、①Cr膜の開口面積を制御する方法、②Cr膜の膜厚を制御する方法、あるいは、③「各単位セルの光透過量を制御する方法として、所望の形状に対応する全体的な光透過光量分布を持たせるために、光露光方式によって、各単位セルを透過する光の「光透過面積」と「光透過率（Cr膜厚）」の総合的な組み合わせによってグラデーションマスクを適宜製作する方法」があるが、ここでは一例として③の方法で実施する。すなわち、上述のような単位セル構成のグラデーションマスクの製作方法としては、まず、石英ガラス等の透明基板上に、例えば厚さ200nmのCr膜を蒸着等により成膜し、この上に感光性ポジ型レジスト材料を塗布してマスクブランクスを形成する。そして、上記マスクブランクスのレジスト材料層に対して、光ビーム照射装置により光ビームを照射して各単位セルを透過する光の「光透過面積」と「光透過率（Cr膜厚）」の総合的な組み合わせによって所望の形状の透過率分布になるように2次元的にパターンニングする。ここでは、光ビーム照射装置として、図7に示すような自社開発のレーザー光照射装置（レーザー描画装置）を用い、上記レジスト材料層にレーザー光を照射してマスクパターンを描画する。

【0029】図7に示すレーザー光照射装置は、レーザー光発信装置1、レーザー光発信装置1からのレーザー光を複数のレーザー光に分割するビームスプリッター2、レーザー光の光路を折り曲げるミラー3、レーザー光を変調する光変調器と光変調器を制御する制御装置（データバス5からの信号により個々のレーザー光のON、OFFを制御する）4、レーザー光を偏向する光偏向器と光偏向器を制御する制御装置6、レーザー光をレジスト材料層に集光するための対物レンズ7、載置されたマスクブランクスをX方向及びY方向に移動するX-Yステージ8、X-Yステージ8の動作を制御する光学式干渉計9などの主要構成部品から構成されており、設計データに応じてX-Yステージ8の動作と、個々のレーザー光のON、OFFを制御することにより、マスクブランクスのレジスト材料層に所望のマスクパターンを描画する。すなわち、レーザー光照射装置によりレジスト材料層にレーザー光を照射して各単位セル毎に光透過領域または遮光領域を所望の透過率分布になるように2次元的にパターンニングする。また、この際、所望の特殊表面形状に応じて演算された各単位セルの透過率分布に応じてレーザー光の照射が制御され、各単位セル内の光透過領域の面積が制御される。

14

【0030】そして、このレーザー光照射装置によりレーザー光が照射されたレジスト材料部分は、次の現像、リンス工程によって除去され、レジスト材料層にマスクパターンが形成される。次に、このパターンニングされたレジスト材料層をエッチングマスクとしてCr膜をドライまたはウェットエッチングすることにより、所望の2次元的な透過率分布を有するグラデーションマスクが得られる。

【0031】以上のような方法によりパターンニングされたグラデーションマスクの単位セル内では、①Cr膜（遮光膜）の除去された部分と、②Cr膜が薄くなる部分、及び③Cr膜が残っている部分（遮光領域）が形成されるので、これらの総合的な光透過量として一つの単位セルを特徴づけ、構成させることができる。従って、マスクパターンを複数の単位セルで構成し、各単位セル内の光透過領域が、所望の特殊表面形状に応じた透過率分布となるように2次元的に設計し、各単位セルの光透過量を制御することにより、マスクパターンを透過した光が特殊表面形状に対応した3次元的な光強度分布を有する構成のグラデーションマスクが得られる。また、上記の設計時にマスクパターンを所定の拡大率で拡大して設計し、製作すれば、後述のステッパー露光装置で用いるレチクルマスク（拡大マスク）が得られる。

【0032】ところで、上記のようなグラデーションマスクを用いて感光性材料層のパターンニングを行う際には、露光量、デフォーカス量、単位セルの光透過率によって感光性材料の除去量が異なるので、上記プロセス条件毎に感度曲線を作成する。すなわち、光透過率と感光性材料の除去量が特徴づけられた関係を一つの関数（除去量と光透過率（パターンNo.））として表わし、グラデーションマスクの各単位セル内の光透過領域の面積、Cr膜厚等が決定される。尚、上記「感度曲線（除去量と光透過率（パターンNo.））」は、上記の関係をグラフ化し、関数化することによって数式に変換できる。そして、上記数式に基づいて、「目的とする表面形状（例えばマイクロレンズ）の高さ」と「感光性材料の残存量（「感光性材料層の膜厚」－「除去量」）」の関係を数式化する。次いで、コンピュータのCAD上で「レンズ配置位置」と「レンズ高さ（レジスト残存量）」の関係を明らかにする。さらに、これを発展させて、「レンズ配置位置」とマスクの「単位セル・ナンバー」の関係を置き換える。次に、CADデータをデータ化して、レーザー光照射装置の制御部のコンピュータにセットし、順次マスクブランク스에レーザー光を照射してマスクパターンを描画する。そして、これを現像、リンスした後、エッチングすると、所望のレンズ形状に対応した「単位セル・ナンバー」の単位セルが規則的に「レンズ配置位置」に並んだ、目的のグラデーションマスクが製作できる。従って、このようにして、目的の3次元構造の表面形状に対応したグラデーションマスク（あるいはレチク

(9)

15

ルマスク)を設計し、製作する。

【0033】次に、上記の方法によって製作されたグラデーションマスクを用いた露光方法について述べる。上記のような特性を有する単位セルを規則的に配置したグラデーションマスクを製作し、所望の特殊表面形状を形成すべき基板上に形成された感光性材料層に対して、所定の方法でマスクパターンを露光する。この際、露光方法としては、図8に示すように、グラデーションマスク25のマスクパターンを基板26上の感光性材料層27に略等倍で投影して露光する露光装置を用いる方式や、図9に示すように、基板26上の感光性材料層27に対してグラデーションマスク28を密着あるいは近接して配置し、マスクの背面から均一な光強度分布の光束BFを照射するアライメント露光方式があり、さらには、露光用マスクとして、目的とする表面形状に対して所定の拡大率で拡大して形成したグラデーションマスク、すなわちレチクルマスクを用い、図10に示すような構成のステッパー露光装置を用いてマスクパターンを縮小露光するステッパー露光方式がある。

【0034】ここで、図8、図9のアライメント及びコンタクト露光装置を用いた場合、光源21から放射された光束はコリメートレンズ22により平行光束化され、ミラー23で光路を鉛直下方に曲げられてビームエキスパンダ24に入射し、光束径を所望の大きさに拡大された後、グラデーションマスク25を通過する。このグラデーションマスク25は上述したように透過光束の光強度分布を所望の分布にするための透過率分布を有しているので、所望の光強度分布を有する光束が基板26上の感光性材料層27に照射されてマスクパターンが露光される。この露光方式の場合、マスクパターンの露光状態はグラデーションマスク25と感光性材料層27の距離dで異なり、グラデーションマスク25と感光性材料層27の距離dが近接している場合には、グラデーションマスク25の段階的な透過率分布により、感光性材料層27に露光される光束の光強度分布も段階的なものとなるが、グラデーションマスク25と感光性材料層27の距離dを所定の距離(アライメント量)だけ離すことにより、光の回折作用によりデフォーカスな状態でマスクパターンが露光されることになり、光強度分布の段差を解消することができる。

【0035】尚、図8の露光装置において、光源21は感光性材料層27の種類に応じて適宜選択されるものであり、感光性材料層27がフォトリソトの場合には、そのフォトリソトの感度に応じた波長域のレーザー光源やランプ光源が用いられ、感光性材料層27が光硬化性樹脂の場合には、その光硬化性樹脂の種類に応じて紫外線ランプ、ハロゲンランプ、赤外線ランプ等の各種ランプ類や、紫外域～赤外域の各種レーザー光源等が用いられる。

【0036】また、図9に示すような露光方式では、グ

16

ラデーションマスク28を基板26上の感光性材料層27に対して微小間隔を隔して配備し、グラデーションマスク28を介して均一な光強度分布を持つ露光用の光束BFで露光するが、図5に示すような単位セル構成のグラデーションマスクを用いた場合には、グラデーションマスク28を通過した直後の光強度分布は、微小な光透過部の配列に従う段階的な変化をしているが、グラデーションマスク28と感光性材料層27との間に所定の間隙(例えば50 $\mu$ m程度)をもたせることによりデフォーカスさせ、この間隙部分での光の拡散作用で光強度分布が連続的に均され、感光性材料層27の表面では、連続した光強度分布を持った露光を実現できる。

【0037】次に図10に示すようなステッパー露光装置でマスクパターンを基板29上の感光性材料層に縮小露光するステッパー露光法では、所望の表面形状に対して所定の拡大率で製作されたレチクルマスクを用い、そのマスクパターンを縮小露光するので、所望の特殊表面形状を高精度に創成することが可能である。例えば、5倍の拡大率で製作されたレチクルマスクを用い、ステッパー露光法で、マスクパターンを感光性材料層に1/5に縮小して露光する場合、図8や図9の方式に比べて5倍の精度で特殊表面形状を創成することが可能となる。

【0038】図10に示すステッパー露光装置は、光源ランプ30からの光を集光レンズ31により集光し、均一な光強度の照射光としてレチクルマスク32に照射し、レチクルマスク32を透過した光を縮小倍率の結像レンズ33に入射し、X-Yステージ34上に載置された基板37上の感光性材料の表面に、レチクルマスク33の縮小像を結像し、ステッピングモータ35、36でX-Yステージ34を順次移動してマスクパターンを露光するものである。この露光方式の場合、マスクパターンのフォーカス位置を感光性材料層に合焦させて露光した場合には、グラデーションマスク32の段階的な透過率分布により、感光性材料層に露光される光束の光強度分布も段階的なものとなるが、マスクパターンのフォーカス位置を感光性材料層から僅かにずらすことにより、デフォーカスな状態でマスクパターンが露光されることになり、光強度分布の段差を解消することができる。

【0039】次に図6は、グラデーションマスクの別の例を説明するための図である。このグラデーションマスク18は、図6(a)に示すように、透明基板としての透明な平行平板19の片面に、膜厚が段階的に変化する膜20を金属及び/または金属酸化物で形成してなり、膜20の厚さの変化が、所定の光透過率分布をなすように設定されたものである。このように膜厚が段階的に変化するグラデーションマスク18としては、例えば本発明者らにより先に提案された特開平9-146259号公報に記載されたものがあり、その製作方法も上記公報に記載された方法を適宜利用することができる。

【0040】図6(a)に示すような構成のグラデーシ

50

(10)

17

ョンマスクの場合も、露光方式としては前述の図8、図9、図10を参照して説明した各露光方式を用いることができる。ここで一例として、図9のアライメント方式による露光方法について述べる。図6(a)に示すグラデーションマスク18を、感光性材料層(フォトレジスト層あるいは光硬化性樹脂層)の表面に密接させて、膜20の形成されていない面(平行平板19の反対側の面)から均一な光強度分布の光束を照射すると、感光性材料層の表面には、膜20の段階的な膜厚変化に応じた段階的な透過率変化により、例えば、図6(b)に示すような段階的な光強度分布となるが、この場合にも、グラデーションマスク18を感光性材料層に対して微小間隔離して、反対側の面から均一な光で照射すれば、上記微小間隔における光の拡散により、感光性材料層に対して図6(c)に示すような滑らかに連続して変化する光強度分布のパターンが露光される。また、図10に示したステッパー露光装置を用いる場合には、マスクパターンのフォーカス位置を感光性材料層から僅かにずらすことにより、デフォーカスな状態でマスクパターンが露光されることになり、光強度分布の段差を解消することができる。

【0041】以上、グラデーションマスクと露光方式の例について説明したが、図5あるいは図6に示すようなグラデーションマスクの光透過率分布の段差を解消する方法として、上述の例ではマスクパターンの露光時にデフォーカスさせて露光する方法について述べたが、その他の段差解消方法として、露光用マスクのパターン形成面とは反対側で光源側の面に光拡散光学素子を配置し、拡散光でマスクパターンを露光することによりマスクパターンの光透過率分布の段差を解消する方法がある。図11はその一例を示しており、石英基板38a上にCr膜によるマスクパターン38bが形成されたグラデーションマスク37のパターン形成面とは反対側で光源側の面に光拡散光学素子39を配置した例である。この光拡散光学素子39としては、マスクパターン形成前の基板38aに直接形成しておくことができ、一例としては、基板38aの光入射側に、ピッチ:5 $\mu$ m、高さ:1.2 $\mu$ mのマイクロレンズアレイ(MLA)をレジスト熱変形法等によって形成する。次いで基板38aの光拡散光学素子39が形成された面とは反対側の面にCr膜によるマスクパターン38bを形成すれば、光拡散光学素子39を備えたグラデーションマスク37が得られる。図11に示す構成のグラデーションマスク37では、光入射面側に微小なマイクロレンズアレイからなる光拡散光学素子39を備えているので、拡散成分を有する光束でマスクパターンを露光でき、マスクパターンの光透過率分布の段差を解消することができる。

【0042】次に、グラデーションマスクの光透過率分布の段差を解消するさらに別の方法としては、露光用マスクのパターン形成面とは反対側の面(光入射側の

18

面)、あるいは露光用マスクのパターン形成面(光出射側の面)、あるいは露光用マスクの両方の面に、光透過機能を有する光拡散用機能膜を配置し、拡散光でマスクパターンを露光することにより上記マスクパターンの光透過率分布の段差を解消する方法がある。図12はその一例を示しており、石英基板40上にCr膜によるマスクパターン45が形成されたグラデーションマスクを製作した後、そのグラデーションマスクのパターン形成面に、アンダーコート(SiO等)41と、光拡散用機能膜(Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, W<sub>2</sub>O<sub>5</sub>等)42、及び反射防止機能膜(ZrO<sub>2</sub>/MgF<sub>2</sub>/ZrO<sub>2</sub>等)を順次形成し、石英基板40のパターン形成面とは反対側の面(光入射側の面)に反射防止機能膜44を形成した例である。図12に示す構成のグラデーションマスクでは、パターン形成面に光拡散機能と反射防止機能膜を有する光拡散用機能膜を備えているので、拡散成分を有する光束でマスクパターンを露光でき、マスクパターンの光透過率分布の段差を解消することができる。尚、図12の例では、パターン形成面側に光拡散用機能膜を形成しているが、石英基板40のパターン形成面とは反対側の面(光入射側の面)、あるいは両方の面に光拡散用機能膜を形成しても同様の効果が得られる。

【0043】以上、本発明に係る露光用マスク(グラデーションマスクまたはレチクルマスク)とそのマスクを用いた露光方式、及び光透過率分布の段差解消方法の例について説明したが、これらのマスク及び露光方式を適宜選択して用いることにより、図1や図2の中の露光工程で示した滑らかな光強度分布が実現でき、感光性材料層に段差が解消された所望の3次元構造の表面形状を創成することができる。また、その感光性材料層に創成した表面形状を、基板に転写することができる。

【0044】次に、感光性材料層と基板に対し異方性エッチングを行って、上記感光性材料層の表面形状を基板表面に彫り移して転写する際に、異方性エッチングの選択比を時間的に変化させることにより、基板上に転写される表面形状を変形させることが可能である。図13

(a)は、基板10上に、表面を曲面化されたレジスト層11を形成した状態を示している。このような曲面形状を出発形状とするエッチング工程において、選択比を時間的に変化させると、基板10に、例えば図13

(b)に示す如く、出発形状と全く異なる曲面形状として転写することができる。この例においては、出発形状の裾野部分(図中に「I」で示す部分)を転写する時の選択比を1より大きく設定することにより、基板10にはこの部分Iの傾きを大きくして転写し、次の中間領域IIの転写に際しては選択比を略1に設定して出発形状に近い形状を転写し、最後に、中央領域IIIの転写に際しては再度、選択比を1より大きく設定して、出発形状における領域IIIの高低差を拡大して転写している。このように、選択比を変化させつつエッチング工程を行うこ

(11)

19

とにより、出発形状に所望の変形を施して基板10の表面形状12として転写することができる。

【0045】

【実施例】次に、本発明に係る特殊表面形状の創成方法及び光学素子の具体的な実施例として、液晶デバイスに用いられる微小寸法のマイクロレンズアレイ (MLA) を製作する場合と、光通信用光学素子として大口径、高サグ量のマイクロレンズ (ML) を製作する場合の実施例について説明する。

【0046】(実施例1) 図15は液晶プロジェクター用の液晶デバイスの一例を示す図であり、図中の符号201はTFT基板、202はマイクロレンズアレイ基板、203は平面基板、205は液晶層を示している。TFT基板201の液晶層205に接する側の面には、各画素を駆動するためのTFT201Aとバスライン(図示せず)が形成され、これらTFT201Aとバスラインに覆われていない部分が画素としての開口部201Bになっている。また、符号201Cは透明導電膜を示している。TFT基板201と共に液晶層205を挟持する平面基板203は透明な平行平板で、液晶層205に接する側の面にはブラックマトリックス204が形成され、このブラックマトリックス204上には透明電極204AがITO膜により形成されている。マイクロレンズアレイ基板202には、平面基板203に接する側の面に屈折面として凸のマイクロレンズ302のアレイ配列、すなわちマイクロレンズアレイが形成されている。図16は上記マイクロレンズアレイ基板202を示す図であり、符号303はスペーサ部を示す。図中の符号hはスペーサ部303の(マイクロレンズ302形成面からの)高さを示しており、h'はマイクロレンズ302の高さを示している。このh、h'は関係： $h \geq h'$ を満たすことが必要であり、スペーサ部303は、個々のマイクロレンズ302の高さ以上の高さに形成されている。

【0047】実施例1は、図15、16に示すような微小ピッチで配列されたマイクロレンズアレイを製作する例であり、マイクロレンズ302の隣接間隔を限りなく零に近づけて製作する例である。ここで、図17に示すように、液晶プロジェクター用の液晶デバイスの画素302Aを正方形と想定し、その画素サイズ(面積)を $XA \times XA$ とした場合に、0.9" XGA用の液晶素子の画素サイズは約 $\square 18 \times 18 (\mu m)$ であるので、理想的にはこの画素サイズと同じ大きさのマイクロレンズを配置したマイクロレンズアレイとすることが望ましい。しかし、マイクロレンズアレイを形成する場合に、レンズの両側に各 $1 \mu m$ づつのレンズ非形成部がある場合(レンズ間に隙間がある場合)には、レンズ形成領域は図中に破線で示した領域302Bとなり、その面積 $XB \times XB$ は $\square 17 \times 17 (\mu m)$ となり、全体の面積に占めるマイクロレンズアレイ面積の比率は、 $(17 \times 1$

20

$7) / (18 \times 18) \times 100 = 289 / 324 \times 100 = 89.2$ となり、マイクロレンズアレイで全ての光を有効に集光することができて、89.2%の集光効率でしかない。したがって、マイクロレンズの非形成部の面積を小さくすることが光利用効率を向上させる上で重要であり、図15、16に示す例のように、マイクロレンズ302の隣接間隔を限りなく零に近づけることが望ましい。

【0048】次に、図15、16に示すようなマイクロレンズアレイを製作するに当たって、まず、前述した方法で製作される濃度分布マスクを予め用意する。具体的には、本実施例では、図10に示すようなステッパー露光装置を用いて $1/5$ 倍の縮小露光を行うので、実際に製作した濃度分布マスクは、マイクロレンズ形状を5倍に拡大したマスクパターンのレチクルマスク(拡大マスク)であり、そのレチクルパターン寸法は、 $\square 90 \times 90 (\mu m)$ である。図14はマイクロレンズ1個分のマスクパターンの一例を示しており、このマスクパターン46はCr遮光膜の開口面積と膜厚が制御された多数の単位セルに分割された構成となっている。本実施例では、この一個のマイクロレンズ部分を、単位セルのサイズを $3.0 \times 3.0 (\mu m)$ として、

縦×横 $= 3.0 \times 3.0$ (個) $= 900$ (個)

の単位セルに分割したマスクパターンを設計する。このマスクパターンの設計においては、中央部単位セル(レチクルマスク上： $3 \times 3 (\mu m)$ →実際のパターンでは $0.6 \times 0.6 (\mu m)$ )には単位セル・ナンバー1番(Cr遮光膜が全部残った状態)の単位セルを配置する。また、マイクロレンズ形成領域の四隅部分には、単位セル・ナンバー80番(Cr遮光膜の残り部分無し)を配置する。そして、この間の単位セル・ナンバー1～80の単位セルには、各「階調(光透過量)」に対応する「開口面積」と「Cr膜厚」の分布を対応させ、目的とするレンズ面形状に応じた2次元的な透過率分布となるように設計してCADデータを作成する。尚、このレンズ面形状と単位セル・ナンバーの関係は、前述したように露光プロセスと感光性材料の感度曲線から得られる関係である。勿論、感光性材料や露光プロセスが異なればその都度、感度曲線を把握する必要がある。

【0049】上記の基本的な考え方に基いて、詳細なデータに裏づけされた計算式とプログラムから、パーソナルコンピュータ上のCAD設計画面上でレンズ高さやマスクパターンの単位セル・ナンバーを関数付けて単位セル・ナンバーを配置し、CADデータを作成する。次に、石英ガラスに感光性材料を塗布したマスクブランクスを用意し、図7に示したレーザー照射装置のX-Yステージ8にセットした後、上記のようにして作成されたCADデータをレーザー照射装置の制御部に入力してX-Yステージ8の移動とレーザー光源1のON、OFFを制御しながら、所定の方法でマスクブランクスに

(12)

21

レーザー光を照射してマスクパターンを描画する。そして、所定の方法で現像、リンスを行うことにより、感光性材料層にマスクパターンが得られた。次に、パターンニングされた感光性材料層をエッチングマスクとして、Cr用のウェットエッチング液にてCr膜のエッチングを行った。この方法によって、図14に示すようなパターンで、各単位セルが目的とする開口面積と膜厚を有し、且つ全体としてレンズ形状に対応した2次元的な透過率分布を有するレチクルマスクを製作した。

【0050】次に、上記のレチクルマスクを使用したマイクロレンズアレイの製作方法の一例を述べる。製造方法としては、図1と同様の製造工程で行った。まず、図1(a)に示すように、所望の表面形状を形成すべき基板10としてネオセラム基板を用意し、この基板10上に感光性材料として市販のフォトリソ（東京応化（株）製TGM R-950（商品名））11を8.56  $\mu\text{m}$ の厚さになるように塗布する。次にフォトリソ11を塗布した基板10をホットプレート上に載せ、100℃の加熱温度にてバーク時間：180秒でプリバークした。次に、レジスト層11が形成された基板10を図10に示したような構成のステッパー露光装置のX-Yステージ上にセットし、上記のレチクルマスクを露光用マスクとして1/5倍の縮小率でステッパー露光した。露光条件は、マスクパターンの結像位置をレジスト層11の表面から僅かにデフォーカスさせ、デフォーカス量を+25  $\mu\text{m}$ 、露光光束LFの照射量を390  $\text{mW} \times 1.92$ 秒（照度：720  $\text{mJ}$ ）とした。また、このマスクパターンの露光では、図1(b)に示すように、マイクロレンズアレイのレンズ面形状に対応した光強度分布のパターンが露光されるので、レジスト層11は、マイクロレンズ形状に対応して3次元的に感光される。上記の露光工程終了後、PEB（ポスト・エクスポージャー・バーク）を105℃の温度で270秒間実施することにより、図1(c)に示すように、レジスト層11によるマイクロレンズ形状が得られた。次いで、上記基板22を紫外線硬化装置の真空槽内にセットし、180秒間、真空引きをしながら紫外線照射を実施して、レジスト層のハードニングを行った。この操作によって、レジストの耐プラズマ性は向上し、次工程での加工に耐えられるようになる。尚、この時のレジスト高さは、6.7  $\mu\text{m}$ であった。

【0051】次に、上記基板10をTCPドライエッチング装置の真空槽内にセットし、真空度：1.5  $\times 10^{-3}$  Torrに真空排気した後、CHF<sub>3</sub>：5.0 sccm、CF<sub>4</sub>：5.0 sccm、O<sub>2</sub>：2.0 sccmの混合ガスを真空槽内に導入し、基板バイアス電力を600W、基板の上方に配設した上部電極（アンテナ電極）の電力を1.25KW、基板冷却温度を-20℃、とした条件下で異方性のドライエッチングを行った。また、この時、基板バイアス電力と上部電極電力を経時的に変化さ

22

せ、時間変化と共に異方性ドライエッチングの選択比を（小さくなるように）変更しながらエッチングを行った。基板10の平均エッチング速度は、0.63  $\mu\text{m}/\text{分}$ であったが、実際のエッチング時間は、11.5分を要した。以上のドライエッチング工程を経てレジスト層の形状が基板に彫り移され（図1(d)）、図16に示すような断面形状のマイクロレンズアレイが製作された。また、エッチング後のレンズ高さHは、H=5.3  $\mu\text{m}$ であった。

【0052】（実施例2）次に、実施例1と同様の液晶デバイス用マイクロレンズアレイを製作する際の別の実施例を示す。この実施例においても、0.9" - XGA用の液晶素子の画素サイズを $18 \times 18$  ( $\mu\text{m}$ )として、図16のように隣接間隔を限りなく零に近づけたマイクロレンズアレイを製作する。本実施例では、露光工程で用いる露光用マスクとして、実施例1と同様に作製されるレチクルマスクの光入射側に光拡散機能を有する微小光学素子を設けたものを使用する。図11はその一例を示しており、石英基板38a上にCr膜によるマスクパターン38bが形成されたレチクルマスク37のパターン形成面とは反対側で光源側の面に光拡散光学素子39を配置した例である。この光拡散光学素子39としては、マスクパターン形成前の基板38aに直接形成しておくことができ、一例としては、石英基板38aの光入射側に、ピッチ：5  $\mu\text{m}$ 、高さ：1.2  $\mu\text{m}$ のマイクロレンズアレイ（MLA）をレジスト熱変形法等によって形成する。次いで基板38aの光拡散光学素子39が形成された面とは反対側の面に、実施例1と同様の方法によってCr膜によるマスクパターン38bを形成する。これにより、光拡散光学素子39を備えたレチクルマスク37が得られる。図11に示す構成のレチクルマスク37では、光入射面側に微小なマイクロレンズアレイからなる光拡散光学素子39を備えているので、拡散成分を有する光束でマスクパターンを露光でき、実施例1記載の単位セルで構成されたマスクパターンの光透過率分布の段差を解消することができる。

【0053】尚、このレチクルマスクは図10に示すステッパー露光装置にセットされ、実施例1と同様の露光工程が実施されるが、この際、レチクルマスクは光拡散光学素子39を備えているので、デフォーカスさせる必要はない。また、光拡散光学素子を備えたレチクルマスクを用いて露光工程を行う以外は、実施例1と同様に行った。すなわち、露光後のPEBやエッチング等の条件は実施例1と同じである。

【0054】（実施例3）次に、実施例1と同様の液晶デバイス用マイクロレンズアレイを製作する際の別の実施例を示す。この実施例においても、0.9" - XGA用の液晶素子の画素サイズを $18 \times 18$  ( $\mu\text{m}$ )として、図16のように隣接間隔を限りなく零に近づけたマイクロレンズアレイを製作する。本実施例では、露光工



(13)

23

程で用いる露光用マスクとして、実施例1と同様に作製されるレチクルマスクのパターン形成面とは反対側の面（光入射側の面）、あるいはレチクルマスクのパターン形成面（光出射側の面）に、光透過機能を有する光拡散用機能膜を配置したものを使用する。図12はその一例を示しており、実施例1と同様の方法で、石英基板40上にCr膜によるマスクパターン45が形成されたレチクルマスクを製作した後、そのレチクルマスクのパターン形成面に、例えば、本出願人による特願平11-288430号公報記載の薄膜形成方法を用いて、中心波長をi線に合せて、基板側からアンダーコート41としてSiO膜を $\lambda/4$ 、光拡散用機能膜42としてTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>の膜を $\lambda/4$ 、反射防止機能膜43としてZrO<sub>2</sub>：  
0.4+MgF<sub>2</sub>：0.2+ZrO<sub>2</sub>：0.4の等価膜を順次形成し、石英基板40のパターン形成面とは反対側の面（光入射側の面）には反射防止機能膜44を形成した。図12に示す構成のグレチクルマスクでは、パターン形成面に反射防止機能を有する光拡散用機能膜を備えているので、拡散成分を有する光束でマスクパターンを露光でき、マスクパターンの光透過率分布の段差を解消することができる。また、図12の例では、パターン形成面側に光拡散用機能膜を形成しているが、石英基板40のパターン形成面とは反対側の面（光入射側の面）あるいは両方の面に光拡散用機能膜を形成しても同様の効果が得られる。

【0055】尚、このレチクルマスクは図10に示すステッパー露光装置にセットされ、実施例1と同様の露光工程が実施されるが、この際、レチクルマスクはパターン形成面に反射防止機能を有する光拡散用機能膜を備えているので、デフォーカスさせる必要はない。また、光拡散用機能膜を備えたレチクルマスクを用いて露光工程を行う以外は、実施例1と同様に行った。すなわち、露光後のPEBやエッチング等の条件は実施例1と同じである。

【0056】（実施例4）本実施例では、光通信用光学素子として大口径、高サグ量のマイクロレンズを形成することを目的とする。本実施例は、従来工法では製作が困難であるレンズ高さの高い、短焦点距離マイクロレンズの例であり、更には、両面がマイクロレンズのレンズ構成である。以下、この両面マイクロレンズの形状を特殊表面形状として製作した実施例を述べる。従来の工法では、レンズ高さが高い場合には感光性材料を厚く塗布し、これをパターニングする必要があった。しかし、こ

24

の場合には感光性材料の厚塗り、パターニング性、熱変形性等の問題があり、上記のようなレンズ高さの高い短焦点距離マイクロレンズを製作することは困難であった。また、エッチングの際に選択比を変更する、具体的には選択比を1以上とする方法があるが、選択比を大きくするには限界がある。

【0057】本実施例では、感光性材料として光硬化性樹脂を用い、図2、3と同様の製造工程で両面マイクロレンズを製作する。この際、用いた光硬化性樹脂の収縮量は6.8%、移動量は目的とするレンズ径の数十分の一程度である。また、光硬化性樹脂の感度や移動量、収縮量は、材料毎に定まる物理量で、材料固有の物性値である。また、本実施例では、直径約800 $\mu$ mに対して変形後の高さが20~30 $\mu$ mであり、その比は30分の1程度であるため、充分な変形能力を有しているの

で、移動量や収縮量からの制約は受けない。  
【0058】本実施例で目的とするレンズ面形状は第1面、第2面とも非球面形状であり、その非球面形状は、曲率半径：R、光軸からの距離：Y、円錐定数：k、高次の定数：a、b、・・・、光軸方向の高さ：Xを用いて次の多項式で表され、その非球面マイクロレンズの設計結果は下記の表1に示す通りである。

$$X = (Y^2/R) / [1 + \sqrt{1 - (k+1)(Y/R)^2}] + aY^4 + bY^6 \dots$$

【0059】また、本実施例の場合は、マイクロレンズは単レンズ構成であるので、レンズ間隔の考慮は不要である。さらに、膜厚は、光硬化性樹脂の収縮変形量（本実施例では10 $\mu$ m程度）の2倍（約20 $\mu$ m）とした。また、露光用マスクとしては、図6に示すような膜厚を制御したグラデーションマスクを用い、図9に示すような露光方式により実施した。この時のアライメント量は、従来の実績データから20 $\mu$ mとし、マスクパターンがデフォーカス状態で露光されるようにした。そして、これらの条件と目的形状をパーソナルコンピュータに入力し、所定の計算式から二次元的な透過率分布のマスクパターンを設計し、製作する。尚、膜厚を制御したグラデーションマスクとしては、本発明者らが先に提案した特開平9-146259号公報記載の方法を用いて、マイクロレンズの第1面と第2面の形状に対応するグラデーションマスクをそれぞれ設計、製作した。

【0060】

【表1】



(14)

25

26

項目			内容	備考
基板の厚さ			1.05mm	
基板の材質			ネオセラム	
基板の屈折率			1.541	$\lambda=500\text{nm}$
第1面	レンズの直径		699 $\mu\text{m}$	D
	曲率半径		2.922mm	R
	レンズの高さ		20.81 $\mu\text{m}$	H
	非球面定数	Conic	-0.999155	k
		4次	-0.010321	a
6次		0.0020539	b	
第2面	レンズの直径		797 $\mu\text{m}$	D
	曲率半径		2.657mm	R
	レンズの高さ		-29.82 $\mu\text{m}$	H
	非球面定数	Conic	-1.050663	k
		4次	0.0106659	a
6次		0.0010284	b	
焦点距離			2.754mm	
物体距離			2.45mm	
像面距離			100.00mm	

【0061】まず、第1面を加工する。最初に、直径： $\phi 4"$ のネオセラム基板に、光硬化性樹脂としてアクリル系接着剤（大日本インキ（株）製GRANDIC RC-8720（商品名））を基板温度：20℃にて、膜厚：20 $\mu\text{m}$ になるようにスピンコーターを用いて塗布し樹脂層を形成する。25℃におけるアクリル系接着剤の粘度は1100CPSであり、厚膜塗布がスピンコーターで可能となる。この後、基板温度をホットプレート上で30℃まで上昇させ、接着剤の粘度を795CPSまで低下させ、未硬化樹脂の表面うねりの均一化を図る。次いで、基板温度を20℃以下に下げ粘度を低下させる。これにより樹脂層の移動度が低下し、基板の取り扱いが容易になる。

【0062】次に、この基板を半導体アライナー上にセットする。一方、上記の設計データに基づいて製作したグラデーションマスクをアライナーにセットする。その後、所定の作業によって、アライメント量：20 $\mu\text{m}$ の条件下で、グラデーションマスクの背面側から露光光束（例えば、紫外線）を7mW/cm<sup>2</sup>の照度で200秒照射し、照射積算光量：1400mJ/cm<sup>2</sup>を照射する。この際、樹脂層の変化量が大きいので、露光光束を低照度で長時間照射しながら樹脂層を硬化させる。この間、照射初期には基板を加熱して温度を30℃まで上昇させる。また、光照射時間：200秒の間にも基板は光によって加熱され、照射終了時には基板温度が40℃まで上昇した。この間、樹脂層の粘度は低下し、硬化と共に樹脂層は収縮し、その高さは高くなる。

【0063】次に、上記の処理の後、基板温度をさらに50℃まで上昇させる。すると、樹脂層の粘度は217CPSまで上昇する。この状態で基板を5分間放置すると、次第に光硬化してない部分（表面層の凹部）の樹脂が流動し、表面張力で表面が平坦化する。勿論、この処理を省くことによって、レンズ周辺の凹形状を残すこと

もできる。この工程後、基板表面全面に、均一の平行光を照射し、樹脂を完全に硬化させる。上記の方法によって硬化した樹脂層の表面形状を評価したところ、下記のような結果が得られた。マイクロレンズ直径：D=699 $\mu\text{m}$ 、樹脂の高さ：h=20.9 $\mu\text{m}$ 、基板から樹脂トップまでの高さ：H=30.8 $\mu\text{m}$ であった。

【0064】次に、上記形状の樹脂層を有する基板を半導体用のTCPドライエッチング装置の真空槽内にセットし、真空度：3.0 $\times 10^{-4}$ Torrに真空排気した後、Ar：5sccm、CF<sub>4</sub>：20sccm、CHF<sub>3</sub>：5sccmの混合ガスを真空槽内に導入し、基板バイアス電力を1100W、基板の上方に配設した上部電極（アンテナ電極）の電力を1200W、基板冷却温度を-20℃、とした条件下で異方性のドライエッチングを行った。この時のエッチング速度は、基板、樹脂層ともに0.85 $\mu\text{m}$ /分であった。また、基板材料と樹脂層のエッチング速度の比（選択比）は1であった。この条件下で、39分間エッチングを行った。このエッチング後の基板の表面形状を測定した結果、基板の第1面加工後の形状は下記の通りである。

マイクロレンズ直径：D=699 $\mu\text{m}$

レンズ高さ：H=20.9 $\mu\text{m}$

曲率半径：R=2.657mm

【0065】次に上記と同様の工程で第2面を製作する。まず、第1面を加工した基板の裏面（第2面）側に、光硬化性樹脂としてアクリル系接着剤（大日本インキ（株）製GRANDIC RC-8720（商品名））を基板温度：20℃にて、膜厚：20 $\mu\text{m}$ になるようにスピンコーターを用いて塗布し樹脂層を形成する。次に、この基板を半導体アライナー上にセットする。一方、上記の設計データに基づいて製作したグラデーションマスクをアライナーにセットする。その後、所定の作業によって、アライメント量：30 $\mu\text{m}$ の条件下で、グラデーションマ

(15)

27

クの背面側から露光光束（例えば、紫外線）を  $7\text{ mW}/\text{cm}^2$  の照度で  $220$  秒照射し、マスクパターンを照射光量： $1540\text{ mJ}/\text{cm}^2$  まで照射して、樹脂層を硬化させる。この間、照射初期には基板を加熱して温度を  $30^\circ\text{C}$  まで上昇させる。また、光照射時間： $220$  秒の間にも基板は光によって加熱され、照射終了時には基板温度が  $40^\circ\text{C}$  まで上昇した。この間、樹脂層の粘度は低下し、硬化と共に樹脂層は収縮し、その高さは高くなる。

【0066】次に、上記の処理の後、基板温度をさらに  $50^\circ\text{C}$  まで上昇させ、この状態で基板を  $5$  分間放置すると、次第に光硬化してない部分（表面層の凹部）の樹脂が流動し、表面張力で表面が平坦化する。勿論、この処理を省くことによって、レンズ周辺の凹形状を残すこともできる。この工程後、基板表面全面に、均一の平行光を照射し、樹脂を完全に硬化させる。上記の方法によって硬化した樹脂層の表面形状を評価したところ、下記のような結果が得られた。マイクロレンズ直径： $D=798\text{ }\mu\text{m}$ 、樹脂の高さ： $h=29.9\text{ }\mu\text{m}$ 、基板から樹脂トップまでの高さ： $H=40.5\text{ }\mu\text{m}$  であった。

【0067】次に、上記形状の樹脂層を有する基板を半導体用の T C P ドライエッチング装置の真空槽内にセットし、真空度： $3.0 \times 10^{-4}\text{ Torr}$  に真空排気した後、 $\text{Ar}$ ： $5\text{ sccm}$ 、 $\text{CF}_4$ ： $20\text{ sccm}$ 、 $\text{CHF}_3$ ： $5\text{ sccm}$  の混合ガスを真空槽内に導入し、基板バイアス電力を  $1100\text{ W}$ 、基板の上方に配設した上部電極（アンテナ電極）の電力を  $1200\text{ W}$ 、基板冷却温度を  $-20^\circ\text{C}$ 、とした条件下で異方性のドライエッチングを行った。この時のエッチング速度は、基板、樹脂層ともに  $0.85\text{ }\mu\text{m}/\text{分}$  であった。また、基板材料と樹脂層のエッチング速度の比（選択比）は  $1$  であった。この条件下で、 $51$  分間エッチングを行った。このエッチング後の基板の表面形状を測定した結果、基板の第2面加工後の形状は下記の通りである。

マイクロレンズ直径： $D=790\text{ }\mu\text{m}$

レンズ高さ： $H=30.0\text{ }\mu\text{m}$

曲率半径： $R=2.641\text{ mm}$

【0068】尚、第1面と第2面の光軸合せ精度は  $\phi 0.2\text{ }\mu\text{m}$  以下であった。また、このマイクロレンズを光通信用モジュールに組み込み、光学性能を評価したところ、下記の性能が得られた。

出射側／入射側の光ファイバー径（コア径）： $8\text{ }\mu\text{m}$   
ファイバーからの発散角（半角）： $8^\circ$ （全角： $16^\circ$ ）

ダミーピンホール：レンズ端面から  $50\text{ mm}$  の位置にて  $500\text{ }\mu\text{m}$  径

レンズ性能（光損失）目標値： $4\text{ dB}$  以下

レンズ性能（光損失）結果： $3.81\text{ dB}$

【0069】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、

28

新規な特殊表面形状の創成方法及びその創成方法により形成した光学素子を提供することができる。そして本発明では、グラデーションマスク（濃度分布マスク）あるいはレチクルマスク等の露光用マスクを用いて感光性材料層に特殊表面形状を創成する際に、露光用マスクの2次元的な光透過率分布をスムージングして、マスク内の光透過率分布曲線の不連続部分が感光性材料層に露光されないようにすることができるので、感光性材料層に不連続形状（段差）として転写されないようにすることができる。従って、本発明によれば、感光性材料の感度を落としたり、感度の鈍い感光性材料に材料変更したりすることなしに、高精度に形状転写することができ、高さ方向に滑らかに連続的に変化する3次元形状を高精度に創成することができる。また、感光性材料層に形成した3次元形状を異方性エッチングにより基板に転写することにより、基板上に3次元構造の特殊表面形状を創成することができる。従って、本発明によれば、感光性材料層あるいは基板上に、高さ方向に滑らかに連続的に変化する3次元構造の特殊表面形状を容易に創成することができ、この表面形状を光学的曲面とすることにより、光通信の大口径マイクロレンズや、液晶デバイス用の微小ピッチ・マイクロレンズアレイ等の光学素子を容易に提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る特殊表面形状の創成方法の一実施形態を示す工程説明図である。

【図2】本発明に係る特殊表面形状の創成方法の別の実施形態を示す工程説明図である。

【図3】図2に示す工程で製作された樹脂層の表面形状を基板に転写する際の工程説明図である。

【図4】露光工程における照射光の光強度分布と形成される表面形状との対応を説明するための図である。

【図5】本発明に係る露光用マスクの一例を説明するための図である。

【図6】本発明に係る露光用マスクの別の例を説明するための図である。

【図7】本発明に係るグラデーションマスクを製作する際に用いられるレーザー光照射装置の一構成例を示す図である。

【図8】特殊表面形状のパターニング時に用いられる露光装置の一構成例を示す図である。

【図9】特殊表面形状のパターニング時に用いられる露光方式の一例を示す図である。

【図10】特殊表面形状のパターニング時に用いられる露光装置の別の構成例を示す図である。

【図11】本発明の一実施例を示す図であって、光拡散光学素子を設けた露光用マスクの要部断面図である。

【図12】本発明の別の実施例を示す図であって、光拡散機能膜を設けた露光用マスクの要部断面図である。

【図13】エッチング工程において、選択比を時間的に

(16)

29

変化させることにより、出発形状と異なる表面形状を基板に形成することを説明するための図である。

【図14】第1の実施例において使用されるレチクルマスクのマスクパターンの一例を示す図である。

【図15】液晶プロジェクター用の液晶デバイスの一例を示す要部断面図である。

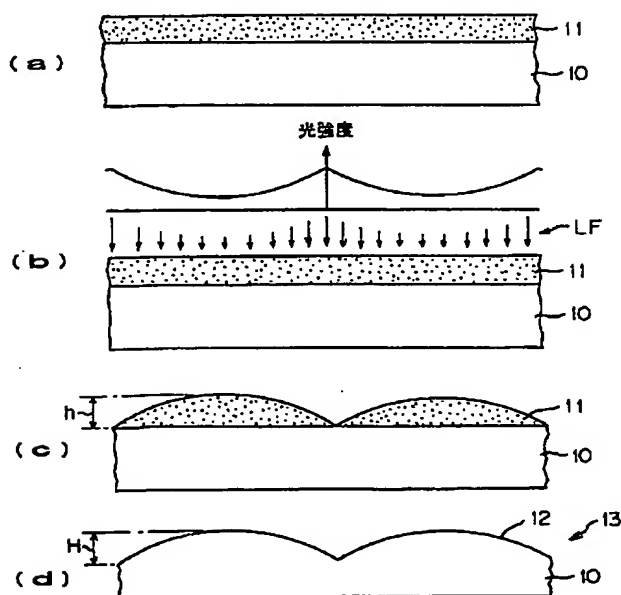
【図16】図5に示す液晶デバイスに用いられるマイクロレンズアレイ基板の一例を示す要部断面図である。

【図17】液晶デバイスの画素とマイクロレンズ形成領域の関係を説明するための図である。

【符号の説明】

- 1 レーザー光発信装置
- 2 ビームスプリッター
- 3 ミラー
- 4 光変調器とその制御装置
- 5 データバス
- 6 光偏向器とその制御装置
- 7 対物レンズ
- 8 X-Yステージ
- 9 光学式干渉計
- 10 基板
- 11 感光性材料層（フォトリソ層）
- 13 光学素子
- 14 基板
- 15 感光性材料層（光硬化性樹脂層）
- 17 グラデーションマスク（濃度分布マスク）
- 18 グラデーションマスク（濃度分布マスク）
- 21 光源
- 22 コリメートレンズ

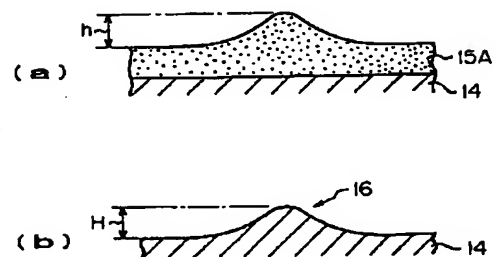
【図1】



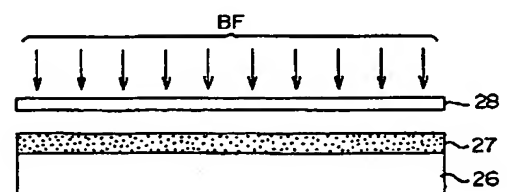
30

- 23 ミラー
- 24 ビームエキスパンダー
- 25 グラデーションマスク
- 26 基板
- 27 感光性材料層
- 28 グラデーションマスク
- 29 基板
- 30 光源ランプ
- 31 集光レンズ
- 32 レチクルマスク
- 33 結像レンズ
- 34 X-Yステージ
- 37 グラデーションマスク
- 38a 石英基板
- 38b マスクパターン（Cr膜）
- 39 光拡散光学素子
- 40 石英基板
- 41 アンダーコート
- 42 光拡散用機能膜
- 43 反射防止機能膜
- 44 反射防止機能膜
- 45 マスクパターン（Cr膜）
- 46 マスクパターン
- 201 TFT基板
- 202 マイクロレンズアレイ基板
- 203 平面基板
- 205 液晶
- 302 マイクロレンズ

【図3】

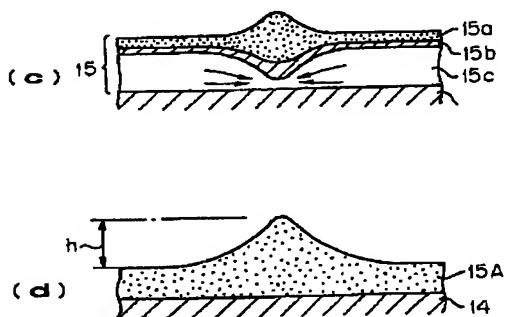
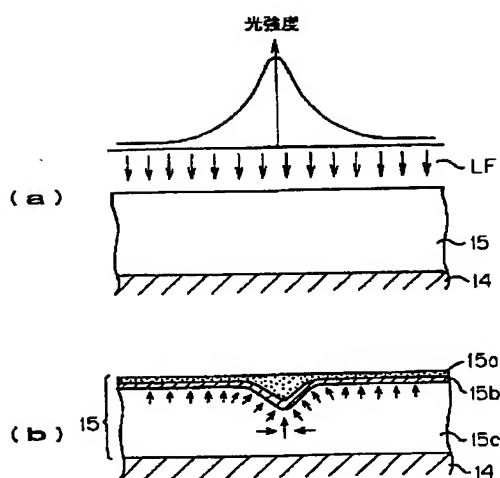


【図9】

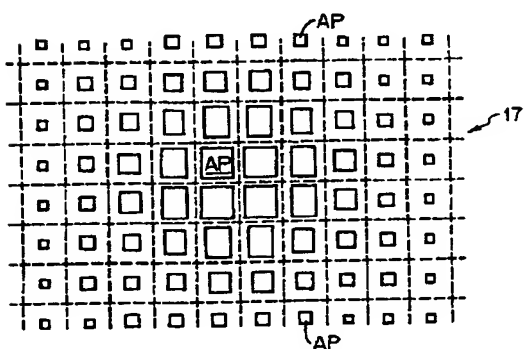


(17)

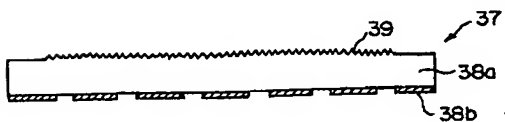
【図2】



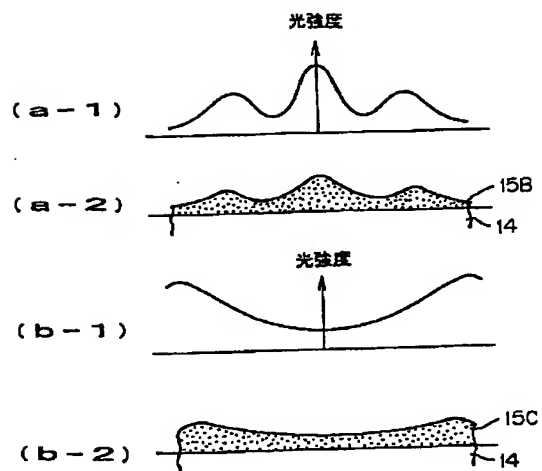
【図5】



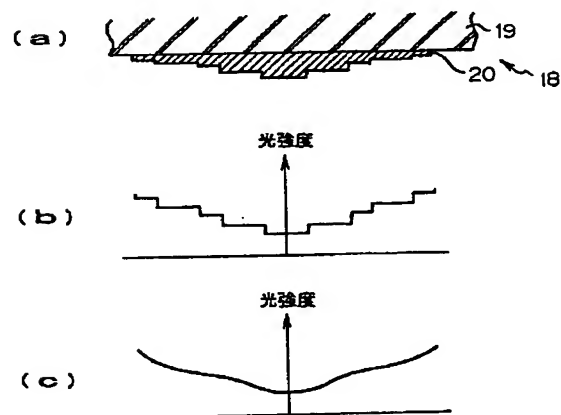
【図11】



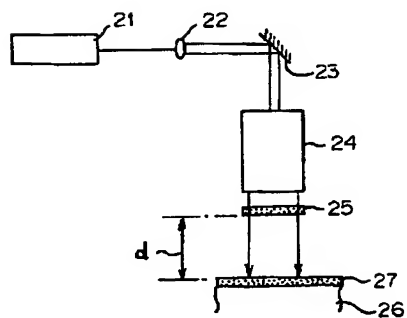
【図4】



【図6】

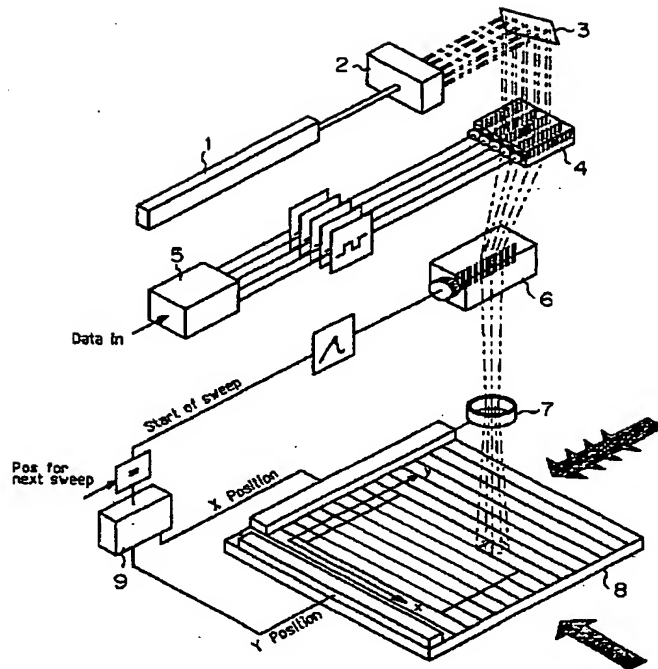


【図8】

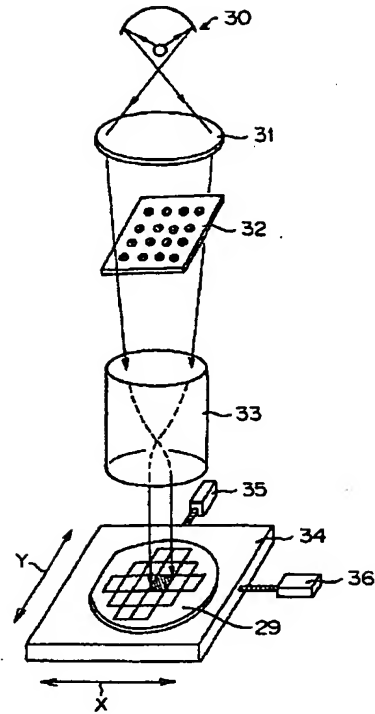


(18)

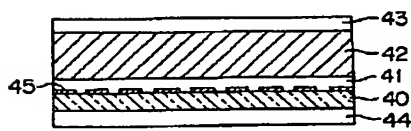
【図7】



【図10】

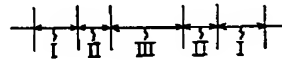


【図12】

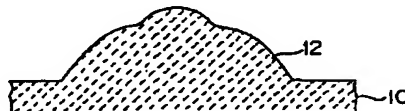


【図13】

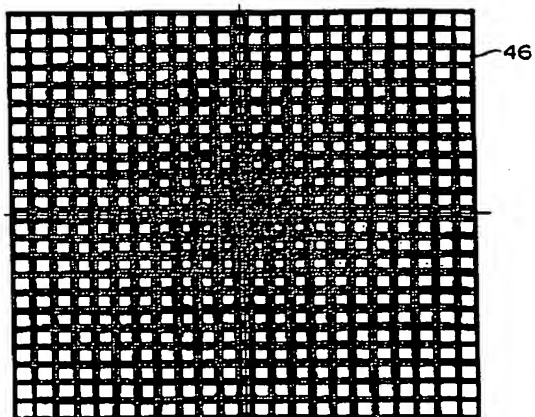
(a)



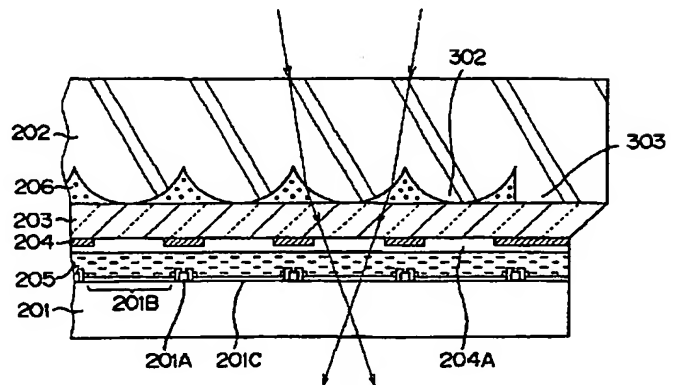
(b)



【図14】

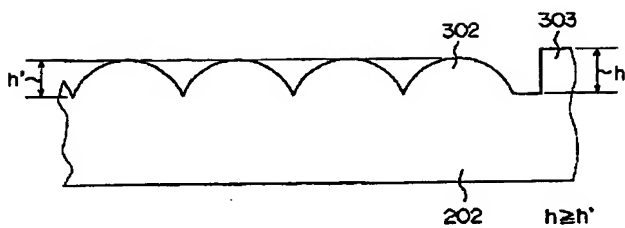


【図15】

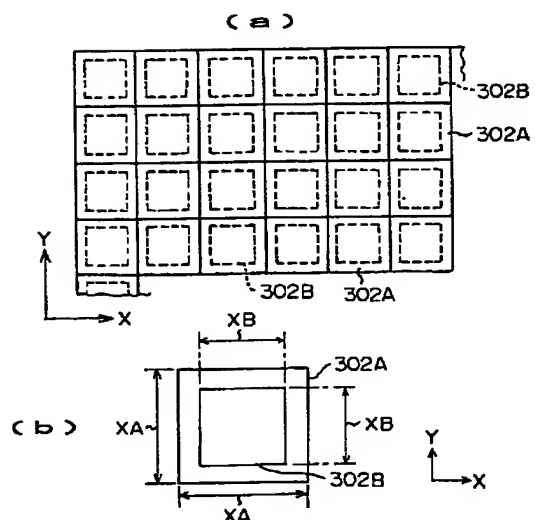


(19)

【図16】



【図17】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H087 KA22 LA01 PA01 PA17 PB01  
 QA02 QA07 QA14 QA34 RA05  
 RA12 RA13 UA01  
 2H096 AA28 AA30 BA05 CA20 EA11  
 EA30 HA23  
 2H097 BA01 FA02 LA12 LA16 LA17  
 9A001 BB06 JJ48 JJ50 KK16